ISSN 2695-0243
DOI 10.47451/col-031-2024

EUROPEAN SCIENTIFIC e-JOURNAL

ISSUE 31 JULY 30, 2024

ACTUAL ISSUES OF MODERN SCIENCE

EUROPEAN SCIENTIFIC E-JOURNAL

ISSN 2695-0243

ISSUE 31

ACTUAL ISSUES OF MODERN SCIENCE

DOI 10.47451/col-031-2024

Tuculart Edition
EU, Czech Republic
2024

Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31.
Ostrava: Tuculart Edition & European Institute for Innovation Development, 2024. – 193 p.

DOI 10.47451/col-031-2024

Scientific Supervisor of the Issue
Alexander Buychik
Doctor of Economics, PhD in Social and Political Sciences

Editor-in-Chief of the Issue
Maxim Bakhtin
Full Professor, Doctor of Philosophy

Chief Reviewer of the Issue
Ivan Pfanenstiel
Full Professor, Doctor of Philosophy

Director of the Issue
Anisiia Tomanek
Master of Social Sciences and Cultural Studies

Designed by Ekaterina Rusakova

Design Partner: International Design

Table of Contents

Economics and Management

Kucher, G.V. Challenges on the way of European integration of Ukraine (In Ukrainian) 7

Nikolaienko, S.M. Accounting and analytical aspects of the cost management process (In Ukrainian) 22

Humanities

Varypaiev, O.M., Minosian, A.S. Philosophical, historical, and cultural aspects of humanitarian training in the educational environment 31

Innovations and Technologies

Linyuchev, O.G., Ushchapovskyi, D.Yu., Linyucheva, O.V., Zabaluyev, A.S. The effect of corrosion treatment on the electrochemical activity of Ni-based electrode materials (In Ukrainian) 42

Shantyr, A.S. Identification of sources of uncertainty in the evaluation of software systems quality (In Ukrainian) 51

Semenets, V.V., Prasol, I.V. Software and hardware microcontroller complex for vibration monitoring (In Ukrainian) 66

Buravchenko, K.O. Analyzing the methods of protection against First-Person View drone 77

Nafteiev, R., Simchenko, S., Pepa, Yu., Simchenko, P. Preparation of films based on metal nitrides by the method of magnetron sputtering and study of their optical properties 88

Slyvka, N.B., Mykhaylytska, O.R., Skulska, I.V., Bilyk, O.Ya. Prospects for using black elderberry in the fermented whey drinks technology (In Ukrainian) 94

Mykhaylytska, O.R., Slyvka, N.B., Nagovska, V.O., Vavrysevych, Ya.S. The use of "Lactomyces tibeticus" for the production of fermented milk drink (In Ukrainian) 108

Mykaylo, O.A. Innovative mobile solutions for vertical greenery in cities 123

Medicine and Pharmaceuticals

Pokanevych, O., Ivnyev, B., & Puzanova, O. Real decisions of international medical students on choosing elective courses on general, internal, and evidence-based medicine at Kyiv Medical University 131

Voitiv, Y.Y., Smorzhevskyi, V.Y. Analysis of the genetic determination of developing eventration in patients with abdominal surgical pathology (In Ukrainian) 158

Udymovych, V.A., Belemets, T.O. Source of polyunsaturated fatty acid and their effects on the human body (In Ukrainian) 166

Social Sciences

Derevianko, S.V. Information technology as a factor of developing the digital economy (In Ukrainian) 179

Authors 187

Citations in APA 190

DOI 10.47451/ecn2024-06-01

Galyna V. Kucher [1]

Challenges on the way of European integration of Ukraine [1]

Abstract: European integration is extremely important for Ukraine. Aggravating security problems forced the international community to form a unified understanding of the significance of providing financial support and intensifying the European integration of Ukraine. European integration processes are a significant factor in changes in social development, economic relations, and financial and institutional systems. Therefore, to accelerate the European integration transformations of Ukraine, it is significant to study the current social and financial challenges. The purpose of the study is to summarize the national experience of overcoming social and financial challenges that accompany the process of European integration of Ukraine under martial law. This determined the research task to substantiate the social and financial challenges caused by Russian aggression and affecting the European integration of Ukraine. The study object is the system of Ukraine's state finances. The research materials are norms of national and European law regarding EU cooperation with Ukraine; and scientific research of domestic and foreign scientists and researchers. In the study course, using the methods of scientific abstraction and generalization, the factors influencing the process of European integration of Ukraine and the risks accompanying it were identified. Qualitative changes in the social development of Ukraine in the conditions of martial law were determined by the methods of economic and financial analysis. The author offers an interpretation of the essence of the European integration and reveals its features financial mechanism. It has been proven that new forms of financial relations were introduced under martial law. Activating financial and social partnerships contributed to the growth of the financial potential of communities and associations. The role of budgetary and humanitarian aid and initiatives supported by national and international donors is significant. Further research is proposed to focus on the formation of a single market with the EU, coordination of industries' financing mechanisms determining the export potential of the EU and Ukraine, improving the financial mechanism of European integration, and economic, social, and environmental. restoration of Ukraine by attracting international donor funds.

Keywords: European integration, the financial mechanism of integration into the EU, financial policy, international regulation, international financial assistance, international donor funds.

Галина Вікторівна Кучер

Виклики на шляху європейської інтеграції України

Анотація: Євроінтеграція має надзвичайно важливе значення для України. Загострення безпекових питань змусило міжнародну спільноту сформувати спільне розуміння важливості надання фінансової підтримки та активізації євроінтеграції України. Євроінтеграційні процеси є вагомим чинником змін у суспільному розвитку, економічних відносинах, фінансовій та інституційних системах. Тому важливим є дослідження сучасних суспільно-фінансових викликів для прискорення євроінтеграційних перетворень в Україні. Метою дослідження є узагальнення національного досвіду щодо подолання суспільних та фінансових викликів, що супроводжують процес європейської інтеграції України в умовах воєнного стану. Це визначило завдання нашого дослідження: обґрунтування суспільних та фінансових викликів, спричинених російською агресією та впливають на євроінтеграцію України. Об'єктом дослідження є система суспільних фінансів України. Матеріалами дослідження є: норми національного та європейського права щодо співпраці ЄС з Україною; наукові дослідження вітчизняних та зарубіжних вчених, експертів

з питань дослідження. В процес дослідження застосовано методи наукової абстракції, узагальнення при визначенні чинників впливу на процес європейської інтеграції України та ризиків, що його супроводжують. Методи економічного та фінансового аналізу – при визначенні якісних змін суспільного розвитку України в умовах воєнного стану. У статті запропоновано тлумачення сутності фінансового механізму європейської інтеграції та розкрито його особливості. Доведено, що в умовах воєнного стану відбулося впровадження нових форм фінансових відносин. Активізація фінансового та соціального партнерства сприяли зростанню фінансового потенціалу громад та об'єднань. Значуща роль бюджетної, гуманітарної допомоги та ініціатив, що реалізуються за підтримки національних та міжнародних донорів. В подальших дослідженнях пропонується зосередити увагу на формуванні єдиного ринку з ЄС, узгодженні механізмів фінансування галузей, що визначають експортний потенціал ЄС і України, удосконаленні фінансового механізму євроінтеграції та економічного, соціального, екологічного відновлення України за рахунок залучення міжнародних донорських фондів.

Ключові слова: європейська інтеграція, фінансовий механізм інтеграції до ЄС, фінансова політика, міжнародне регулювання, міжнародна фінансова допомога, міжнародні донорські фонди.

Вступ

Постановка проблеми. Європейський вибір прописаний у Конституції України та реалізує очікування українського народу. Якщо до початку повномасштабної агресії європейська інтеграція відображала історичні прагнення нашої держави, то після 24 лютого 2022 р. – вона є, з одного боку, символом незламності українського народу, та, з іншого, – складовою Перемоги над російським агресором. Європейська інтеграція - це не лише процесуальні кроки, визначені європейським та імплементовані національним правом, спрямовані на поглиблення політичних, суспільних, економічних та інших зв'язків, але й глибинний процес трансформації українського суспільства та самого ЄС. Виникає необхідність систематизації та узагальнення підходів до визначення її фінансово-економічної складової та викликів, що пов'язані з європейською інтеграцією України як країни-кандидата в члени ЄС.

Дослідженню питань європейської інтеграції присвячено багато праць українських та зарубіжних вчених, де розкриваються її напрями, особливості, моделі розвитку країн, що є членами ЄС. Серед них варто виділити праці таких вітчизняних науковців, як О.О. Борзенко, Т.П. Богдан і О.М. Шаров (*2019*), Л.Л. Гриценко (*2021*), М.В. Грузд (*2012*), В.Р. Сіденко (*2007*), І.О. Школьник, В.М. Кремень і А.Ю. Семеног (*2017*) та інших. Розкриваючи потенціал економічного розвитку України в контексті європейської інтеграції В.Р. Сіденко акцентує увагу на проблемах ресурсного забезпечення розвитку України, зокрема високим ступенем морального та фізичного зносу капіталу, що негативно вплинуло на частку валового капіталоутворення стосовно ВВП країни, значним дефіцитом фінансових ресурсів, що негативно сплинуло на розвиток фондових ринків, подорожчання кредитних ресурсів. Важливий потенціал розвитку зосереджується в інтелектуальній сфері, що потребує, і ми з цим погоджуємося, посилення міжнародної спеціалізації країни у виробничій галузі та формування й реалізації політики довгострокового фінансування економічного розвитку, акцентувати увагу на питаннях якості ресурсів та результативності їх використання (*Сіденко, 2007, с. 143, 149-150*).

Дослідженню питань поточного та перспективного фінансового регулювання в ЄС та їх впливу на інституційний розвиток фінансової системи країни, перспектив їх модернізації, пріоритетів фінансової співпраці України та ЄС присвячено монографію за участю О.О. Борзенко, Т.П. Богдан, О.М. Шаров та ін. (*2019*).

Вагому роль у посиленні безпекових засад функціонування фінансового сектору відіграє удосконалення та адаптація національного досвіду й правових норм, запровадження міжнародних стандартів, європейських директив та регламентів щодо регулювання та нагляду у фінансовій та бюджетній сферах для забезпечення принципу єдності в регулюванні. Важливим для національного розвитку є запровадження європейських засад розвитку «зеленої економіки» та «зелених фінансів», що передбачає необхідність удосконалення державної фінансової політики (*Динаміка реєстрацій…, 2022, с. 164-165*; *Палагнюк, 2013*).

Питання європейського поступу України відіграє важливу роль в забезпечені національної безпеки та посиленні обороноздатності країни. Дослідження даних питань розглядалося в Українському центрі економічних і політичних досліджень імені Олександра Разумкова. Ключевський Я. серед причин, що перешкоджають вступу України до ЄС окреслював фактори, які діють в середині країни, в ЄС та в окремих країнах-членах і відсутності обіцянок з боку ЄС на вступ України, з іншого боку, питання територіального розширення ЄС потребує забезпечення згуртованості Спільноти, «внутрішніх інтеграційних процесів та майбутнє ключових політик». Спільним для всіх учасників інтеграційного процесу є забезпечення внутрішньої стабільності, розвитку демократії, економічного процвітання та покращення якості управління». «Вікном можливостей» дипломат назвав отримання статусу кандидата та одночасно звернув увагу на те, що «Росія хоче та може перешкоджати подальшій співпраці України з ЄС» (*Кількість…, 2024, с. 79-81*).

Серед зарубіжних досліджень даного питання важливу роль відіграють праці вчених, практиків, дипломатів та експертні висновки міжнародних інституцій та країн-членів ЄС. Стюарт С. серед факторів, що перешкоджають інтеграції України вбачала «три найважливіші: внутрішньоукраїнську динаміку, дії російської еліти, розвиток подій у самому ЄС» (*Кількість…, 2024, с. 81*). К. Вольчук серед основних перешкод європейській інтеграції нашої країни вбачала відсутність довгострокового та реформістського бачення національних перспектив, неефективне використання національного кадрового потенціалу («кваліфіковані кадри є стрижнем інтеграційного процесу») та відсутність бачення перспектив розвитку взаємовідносин у ЄС (*Кількість…, 2024, с. 83*).

Дж. Рейнерс, Дж. Сноудон, Б. Джудсберсі і М. Вікерс у звіті про трансформацію сталого розвитку за 2023 рік визначили чотири ключі до успішної трансформації сталого розвитку (*Ukraine Humanitarian Appeal, 2023*). Світовий розвиток під впливом комплексу чинників лише посилює важливість дослідження питання щодо викликів на шляху європейської інтеграції України.

Метою дослідження є узагальнення національного досвіду щодо подолання суспільних та фінансових викликів, що супроводжують процес європейської інтеграції України в умовах воєнного стану. Це визначило завдання нашого дослідження:

обґрунтування суспільних та фінансових викликів, спричинених російською агресією та впливають на євроінтеграцію України.

Об'єктом дослідження є система суспільних фінансів України.

Матеріалами дослідження є: норми національного та європейського права щодо співпраці ЄС з Україною; наукові дослідження вітчизняних та зарубіжних вчених, експертів з питань дослідження.

В процес дослідження застосовано методи наукової абстракції, узагальнення при визначенні чинників впливу на процес європейської інтеграції України та ризиків, що його супроводжують. Методи економічного та фінансового аналізу – при визначенні якісних змін суспільного розвитку України в умовах воєнного стану.

Основна частина

Фінансовий механізм європейської інтеграції України

Визначаючи європейську інтеграцію країни як ціль зовнішньо-економічних інтеграційних процесів та суспільних трансформацій за основу має враховуватися двоїста складова таких змін. Це, з одного боку, передбачає національний розвиток та суспільні зміни відповідно до базових принципів та засад функціонування міжнародного інтеграційного об'єднання – ЄС, та, з іншого боку, процес формування системи міждержавної взаємодії у вигляді наддержавного інтеграційного об'єднання з усіма обов'язками, правами та зобов'язаннями. Останнє передбачає трансформаційні зміни як в ЄС, так і в Україні з метою забезпечення політичної, соціально-економічної та фінансової стабільності.

Євроінтеграційний процес в різних країнах має різні процедурні етапи та тривалість, але базовими умовами для проведення перемовин щодо отримання статусу члена ЄС є дотримання країнами-кандидатами політичних, економічних та інституційних критеріїв (так званих «Копенгагенських критеріїв»). ЄС активно співпрацює з країнами-сусідами та країнами-партнерами, надає фінансову, технічну та іншу допомогу. Проведення реформ для забезпечення відповідності вимогам щодо вступу до ЄС потребує фінансових витрат, які надаються у вигляді фінансової допомоги при реалізації відповідних програм і проєктів із європейських фондів. Серед вітчизняних науковців надання такої допомоги з фондів ЄС може розглядатися як «фінансовий механізм інтеграції до ЄС» (*Підсумки…, 2023*). На нашу думку, такий підхід розкриває лише сегментарне бачення. Вважаємо, що фінансовий механізм інтеграції до ЄС варто розглядати як узгоджену сукупність механізмів, що реалізуються в межах фінансових політик, впроваджуваних ЄС в цілому, країн-членів ЄС та країн, що інтегруються, відповідно до сформованих домовленостей, досягнутого рівня та етапу інтеграції. Дієвість та результативність такого механізму залежить від багатьох чинників, застосовуваних важелів, інструментів, визначених цілей, перспектив і фінансового забезпечення для їх досягнення.

Суспільно-фінансові відносини в Україні під впливом євроінтеграційних змін

Українське суспільство з 2013 р. активно відстоює та впроваджує європейські цінності: повага до людської гідності, свободу, демократію, рівності, верховенство права та повагу до прав людини, зокрема осіб, що належать до меншин (*Конституція України,*

1996, ст. 2). Підписання Угоди з ЄС закріпило розвиток України як європейської держави та сприяло формуванню відповідної інтеграційної політики держави, формуванню Програм співробітництва, завдань, визначених ЄС, та отриманням статусу кандидата в члени ЄС (*Потапенко та ін., 2024*).

Прагнення до європейської інтеграції в українському суспільстві закріплено законодавчо (*Кучер і Козарезенко, 2023*; *Борзенко та ін., 2019*) та прослідковуються на різних рівнях суспільних відносин, що є надзвичайно важливим для впровадження трансформаційних перетворень, поширення європейських цінностей та моделей суспільних та фінансових відносин, змін у фінансово-кредитній сфері, законодавстві та впроваджуваній політиці.

Зазначені рівні – це рівень міжособистісних відносин між громадянами, взаємовідносин між підприємницькими структурами, організаціями та установами, макрорівень – забезпечує імплементацію норм європейського права для удосконалення фінансово-кредитних відносин, положень фінансового регламенту у фінансову систему держави, міждержавний рівень – дозволяє активізувати міжнародне співробітництво та співпрацю між країнами-кланами та країнами-кандидатами в ЄС.

Міжособистісні відносини населення України змінюються таким чином, що національні цінності розвиваються та підсилюються базуючись на традиціях та прогресивному європейському досвіді. Український народ пам'ятає вислів Тараса Шевченка: «…І чужому научайтесь, Й свого не цурайтесь» (*Угода…, 2014*), бо історія свідчить про гіркі наслідки такого забуття. Тому прагнення до впровадження найкращих міжнародних практик, зокрема в процесі євроінтеграції, дозволяє забезпечити збереження національних традицій та розвиток країни як європейської держави. Це зокрема відображається на активному запровадженні фінансового партнерства, соціальної підтримки на рівні громад («соціальні шафи», «соціальні центри», що активно формуються після 2013 р. для допомоги нужденним і малозахищеним верствам населення, багатодітним сім'ям, людям похилого віку, переселенцям, що тікали з початку російської агресії, така активність посилилася в умовах пандемії COVID-19, посилилася в умовах повномасштабної агресії та триває й дотепер), розвитку волонтерського руху та значному зростанню його потенціалу. Формування нової якості суспільних відносин в Україні, що характеризуються надзвичайною єдністю, згуртованістю у боротьбі проти ворога та підтримки постраждалих, трансформуються у нову якість фінансових відносин на рівні окремих громадян і громад, що свідчить про єдність бачення суспільних перспектив, намагання максимально підтримати інших громадян, які найбільше постраждали від російського терору, про формування благодійних фондів і груп, за рахунок добровільних «донатів» громадян, бізнесу, кошти яких спрямовуються як на фінансування потреб постраждалих від агресії громад та окремих громадян, так і на закриття потреб військових у техніці, амуніції, харчуванні, медикаментах тощо.

Відповідно до національного законодавства «надходження гуманітарної допомоги на рахунки в іноземній валюті здійснюється у спеціальному порядку, визначеному Національним банком України» (*Про гуманітарну допомогу…, 1999*; *Про Заяву…, 2021, ст. 7*). З початку повномасштабної агресії відбувся бум благодійних ініціатив, організацій, спрямованих на підтримку армії, обороноздатності країни, інноваційних розробок у

медичній та військовій сферах, соціальну підтримку біженців, переміщених чи постраждалих громадян. Якщо на початок травня 2022 р. в Україні працювало понад 15 тис. благодійних організацій, з яких 8% були зареєстровані у квітні місяці, то на 1 січня 2024 року вже було зареєстровано 29,91 тис. організацій (*Європейська інтеграція України…, 2020*; *Консолідовані версії Договору…, 2010*; *Про благодійну діяльність…, 2012*).

До найбільших благодійних фондів України у 2022-2023 рр. відносять United 24, Повернись Живим, Фонд Притули. З початку повномасштабної агресії по червень 2023 р. лише до цих фондів надійшли пожертви загальним обсягом 55,34 млрд. грн. За 2023 р. надходження до цих фондів скоротилося і становило 18,75 млрд. грн. та спрямовувалися головним чином на оборону, медичну допомогу та відбудову країни. Враховуючи створення спеціального мультивалютного фонду в НБУ, де також акумулюються пожертви для протидії агресії та відбудови країни, загальний обсяг благодійної допомоги за цей період становив 155,34 млрд грн. Якщо в 2022 р. надходження на спецрахунок НБУ акумулювало 56,46% зазначеної допомоги, то за період січень-червень 2023 р. більше коштів сформовано БФ «United 24» (40,24%), а на спецрахунку НБУ – 39,28%. Станом на середину червня 2024 року зі спецрахунку НБУ перераховано на потреби оборони загалом 35720 млн грн. (*Спецрахунок…, 2024*; *Як донатять…, 2023*). Окремі проекти благодійних фондів, держави та державних інституцій різного рівня також активно використовують фінансову допомогу громадян України та світової спільноти. Яскравим прикладом активної участі українців в підтримці армії, цілісності країни є наступні факти: на початок березня 2022 р. через застосунок «Дія» від населення до держави надійшло 80 млн грн., майже 30 тисяч людей – взяли участь у благодійному зборі коштів «#лютийдонат», за ініціативи Національний банк України та фандрайзингової платформи United24 у партнерстві з ПриватБанком (*Платіжний баланс України, 2024*), після цього активно впроваджуються інші проекти, як «Армія дронів» та інші (*Армія дронів, 2024*).

Таким чином, російська агресія стала викликом для української держави та мобілізувала суспільство. Внесені зміни до національного законодавства та корегування державної фінансової, грошово-кредитної, валютної політик, інвестиційної політик в сукупності забезпечили удосконалення функціонування фінансового механізму держави та зовнішньо-економічного співробітництва з міжнародними партнерами.

Міжнародна фінансова підтримка України в умовах воєнного стану

Світова спільнота розпочала активно надавати підтримку українському народу та Уряду, що відобразилося у змінах, запроваджуваних у міжнародних фінансових механізмах надання фінансової допомоги країні як на двосторонній, так і багатосторонній основі, наданні прямої бюджетної підтримки, створенні двосторонніх та мультидонорських фондів фінансового забезпечення бюджетної підтримки країни, українських біженців в країнах світу, що їх приймають, зокрема ЄС, надання військової та гуманітарної підтримки тощо.

Фінансова підтримка українського народу реалізується за допомогою Charities Aid Foundation (CAF) – міжнародне об'єднання донорів, партнерів, що має представництва в різних країнах та спрямовує свою діяльність на довгострокову підтримку благодійних

організацій. Російська агресія проти України стимулювала формування міжнародних благодійних організацій та фондів для надання допомоги нашій країні. CAF включає підрозділи у Великобританії, Америці, Канаді, Австралії, Південній Африці, Болгарії, Індії, Бразилії, та дочірні компанії, наприклад, CAF Bank Limited, CAF Financial Solutions Ltd, CAF Global Trustees Ltd, Американський донорський фонд CAF (CADF) тощо (*Legal information, 2021*).

Окремий напрямок підтримки України відбувається у вигляді міжнародної корпоративної підтримки, наприклад, CAF America створено Фонд корпоративної допомоги Україні (CAU), у партнерстві з Американською торговою палатою в Польщі, AmCham Poland, BCause Болгарія здійснює підтримку українських біженців та їх інтеграцію у болгарське суспільство, Transnational Giving Europe (TGE) – охоплює 19 країн і дозволяє їхнім приватним донорам фінансово підтримувати благодійні організації в інших країнах-членах, та інші проекти (*CAF's response…, 2023*).

Disasters Emergency Committee (DEC) – Комітет з надзвичайних ситуацій з подолання стихійних лих об'єднує 15 провідних благодійних організацій Великобританії, які збирають кошти для швидкого та ефективного реагування на стихійні лиха за кордоном. DEC Ukraine Humanitarian Appeal – об'єднання благодійних організацій Великої Британії для підтримки України. Громадськість, підприємства та фонди Великобританії зібрали 420 млн фунтів стерлінгів та уряд Великобританії виділив ще 25 млн фунтів стерлінгів (*Ukraine Humanitarian Appeal, 2023*).

CAF, з 2010 р. щорічно оцінюючи масштаби благодійності за допомогою визначення глобального рейтингу World Giving Index (WGI), відмічає загальне зростання цього глобального показника за 2021 р. у 5 разів. Наприклад, найвищий рівень має допомога незнайомій людині, який свідчить, що троє з п'яти (62%) дорослих допомагали незнайомим людям, порівняно з 55% у 2020 р. Зросли пожертви на благодійність, збільшившись до 35% кількості населення у світі, та кількість волонтерів у всьому світі зросла до майже кожної четвертої людини (23%), порівняно з однією п'ять у 2020 році (19%). Але якщо протягом 2014-2019 років Україна посідала 106 місце (2016 р) та найвище 89 місце (2015 р.), то у 2022 р. країна посіла 10-е місце у світовому рейтингу благодійності World Giving Index 2022 з наступними показниками: Глобальний рейтинг WGI – 49%, допомога незнайомій людині – 75%, пожертвування грошей – 47%, волонтерська діяльність – 24% (*Ukraine Humanitarian Appeal, 2023, p. 8*).

Таким чином, національне єднання українців забезпечує стійкість самої держави та впливає на об'єднання країн Європи й світу в боротьбі проти російського терору. Така згуртованість реалізується в різних сферах: політичній, економічній, фінансовій, безпековій, гуманітарній та інших. Одночасно виникають потреби в удосконалення норм національного і міжнародного права для спрощення такого співробітництва з урахуванням нових потреб і можливостей, та формування дієвих міжнародних безпекових механізмів із захисту прав та інтересів громадян, громад, народів (зокрема, проти геноциду українського народу).

Виклики для функціонуванні національного підприємництва, бізнес-структур в умовах воєнного стану

Для посилення економічної складової важливу роль має запровадження в країні міжнародних стандартів обліку та фінансової звітності, сучасних технічних засобів та технологій, що сприяють впровадженню міжнародних і європейських підходів у національну практику, забезпеченню прозорості та відкритості діяльності, бізнес-процесів, звітності, прискорюють швидкість розрахунків між учасниками та впровадження нових фінансово-кредитних й інвестиційних інструментів.

Національне відновлення підприємництва має відбуватися одночасно шляхом підтримки та стимулювання діяльності малих, середніх та великих підприємств. Складність і специфічність сучасних економічних процесів у країні полягає в тому, що, наприклад, до актуальних питань, які були пов'язані з необхідністю розширення доступності фінансування та підвищення бізнес-активності, її ефективності та прозорості, тощо, додаються базові компоненти для економічного розвитку: безпечність життя та господарювання, сприятливе середовище, розвиток людського капіталу, створення/будівництво підприємств, інфраструктури та інших об'єктів заново, оскільки значна їх частина знищена, а територія країни знаходиться під постійними ворожими обстрілами. Російський агресор постійно руйнує українську економіку, інфраструктуру, знищує природу, екологію, і це, відповідно, відображається у показниках та рейтингах України та формує нові виклики на шляху європейської інтеграції. Так, наприклад, в Індексі глобальної конкурентоспроможності у 2022 р. та 2023 р. наша країна взагалі не представлена (*The Global…, 2023*), а дослідження Європейської Бізнес Асоціації засвідчили наступні показники Індексів на кінець 2022 р.:

- індекс сталого розвитку – 3,50;
- податковий індекс – 2,97;
- інвестиційний індекс – 2,48;
- індекс настроїв малого бізнесу – 2,6.

Індекс настроїв малого бізнесу демонструє негативний тренд з 3,2 у 2017 р. Серед 325 опитаних представників 71% відмічає, що економічна ситуація є несприятлива/катастрофічна, при цьому 58% відмічають незадоволеність поточним станом власного бізнесу у 2022 р., проти 52% у 2021 р., та лише 1% опитаних відповіли, що стан власного бізнесу дуже добрий (*Школьник та ін., 2017*).

Україна захищає свою незалежність, але має одночасно формувати, вибудовувати модель розвитку інноваційного підприємництва, спрямованого на забезпечення відповідності світовим процесам трансформації в інноваційні екосистеми, запровадження засад розвитку зеленої економіки та зелених фінансів; застосування нових інструментів державної й міжнародної підтримки та кредитування, подальше впровадження європейських підходів щодо фінансової підтримки інноваційної діяльності, зелених фінансів (*Палагнюк, 2013*).

Таким чином, варто акцентувати увагу на доцільності посилення співпраці національних та міжнародних, європейських бізнес структур щодо розвитку українського та спільного бізнесу, проектів, фінансового співробітництва щодо національного

відновлення, реалізації українських і міжнародних інновацій у військово-технічній і медичній сферах.

Удосконалення національного права, зокрема у фінансовій сфері, сприяє запровадженню міжнародних та європейських стандартів щодо забезпечення сталого розвитку, екологічних та зелених фінансів, інноваційних підходів до ведення бізнесу, нових технологій, посиленню динамічності та зростанню обсягів фінансових потоків, поглибленню ринкових відносин. Запровадження сучасних інформаційних та фінтех інструментів позитивно впливає на формування фінансового, цифрового, інформаційного ринку як складової єдиного ринку та фінансового середовища. Це дозволить удосконалити та узгодити механізми фінансового регулювання євроінтеграційного співробітництва.

Таким чином, зміни, що мають місце у національному та міжнародному фінансовому середовищі, пов'язані з змінами структури й моделей підприємництва, що відбуваються під впливом як євроінтеграційних трансформацій, викликами, спричиненими протидією російській агресії, так і під впливом світових трендів із реалізації Глобальних цілей ІІІ тисячоліття ООН. Зміни світового середовища, пріоритети, що підтримуються міжнародними інституціями та донорами, значно впливають на національний та міжнародні фінансові ринки, політику компаній та бізнесу, держав в цілому.

Значні ризики для України виники у зв'язку з обмеженням шляху експорту товарів та збіжжя. При тому, що міжнародна підтримка значно сприяла налагодженню українського експорту до країн ЄС та транзиту до інших країн світу, дані платіжного балансу, оприлюднені Національним банком України, свідчать, що після початку повномасштабної агресії відбулося збільшення від'ємного сальдо торгового балансу в 4,3 рази у 2023 р. у порівнянні з 2021 р., а експорт товарів до країн ЄС (27 країн) скоротився на 4,13% відповідно, що дорівнювало 945 млн. дол. США (*Гриценко та ін., 2021*). Зазначене засвідчує негативний вплив російської агресії не лише на територіальну цілісність та фінансову платоспроможність України, але й на порушення зовнішньоторговельних зобов'язань і зв'язків, ризики світовій продовольчій безпеці. В умовах обмеженості можливостей для українського експорту та використання європейських транспортних коридорів посилилася конкуренція та політична напруга в країнах ЄС, що також потребує врегулювання на наддержавному рівні.

Питання забезпечення сталого розвитку в умовах посилення ризиків та загроз

Дослідження, проведене вченими Oxford Economics (Дж. Рейнерс, Дж. Сноудон, Б. Джудсберсі, М. Вікерс), засвідчило, що 80% бізнес-лідерів виділяють сталість у п'ятірці головних пріоритетів управління, до яких відносять наступні: цифровізацію, задоволеність клієнтів, стійкість, управління та безпеку. Ними визначено, що більше 40% опитаних суб'єктів розглядають у якості можливостей для розвитку впровадження екосистем через стабілізаційні трансформації. Дослідники відмічають, що у лідерів сталого розвитку тепер відбувається більший розподіл цінностей на навколишнє середовище, суспільство, клієнтів, співробітників та інвесторів порівняно з іншими компаніями. Такі компанії оцінюють: екологічну цінність, соціальну цінність, цінність для

клієнтів, цінність для працівників, фінансову цінність та цінність для інвесторів (*Reiners, et al., 2023*).

Зазначені тенденції варто враховувати при формуванні бізнес-стратегій держави, національних підприємств і компаній, оскільки зазначені пріоритети сприятимуть стабілізації функціонування та розвитку підприємництва та бізнес-активності в країні та в світі в майбутньому. Це дозволить активізувати фінансовий та людський потенціал, сформувати синергійний ефект для забезпечення стійкості функціонування в майбутньому, коли зростатимуть витрати з протидії російській агресії, відбудови зруйнованої економіки країни в умовах очікуваного уповільнення зростання світового ВВП у 2024 р. до 2% (*World Economic Prospects…, 2023*), що негативно вплине на обсяги міжнародної підтримки України та інвестиції.

Одночасно, крім зазначених п'яти основних пріоритетів сучасного менеджменту в Україні крім фінансової безпеки бізнесу варто акцентувати на безпеку (військову, економічну, що надзвичайно актуально для нас), оскільки російська агресія призвела до руйнування підприємств, інфраструктури в різних регіонах країни, знищено підприємства на окупованій території та там, де військові дії, що зумовило необхідність внутрішнього переміщення частини підприємств та викликало зовнішню міграцію частини населення, як біженців у інші країни світу, у тому числі країни ЄС. Негативні наслідки зазначеного відображаються у фізичному знищенні підприємств, бізнесів, їх обладнання та в більшості випадків призводять до неможливості здійснення подальшої діяльності. Переміщення працездатного населення як біженців в середині країни та закордон негативно вплинуло на структуру та зниження якості робочої сили в країні, на зростання кількості безробітних, на падіння життєвого рівня населення. При цьому варто враховувати, що найбільш працездатна частина населення перебуває в армії та боронить країну від російської навали, що багато загиблих і в полоні, тощо. Такі загрозливі умови та ризики щодо погіршення ситуації потребують відповідних дій на рівні держави, зокрема визначення напрямів та заходів щодо відновлення фізичного та психологічного здоров'я населення, організації систем «другої» освіти та перекваліфікації з урахуванням потреб ринку праці для національної відбудови, окремим напрямом діяльності держави має стати формування нових підходів і політики щодо оплати праці, навчання, соціального та медичного захисту населення для стимулювання повернення та залучення висококваліфікованих фахівців з-за кордону.

Таким чином, формування безпечного економічного середовища, запровадження європейських практик, підходів і прозорість ведення бізнесу, та сприятливого інвестиційного клімату дозволить якісно покращити потенціал національного підприємництва, що сприятиме зростанню національного виробництва, ВВП, активізації міжнародного підприємництва на українському ринку.

Важливий вплив на євроінтеграційні перетворення в Україні справляє єдність бачення та зусиль усіх учасників євроінтеграційного процесу. Визначені ЄС завдання для української держави та стають підґрунтям для розробки євроінтеграційної політики та Плану дій України, окреслюють напрями подальшої діяльності для забезпечення відповідності країн-кандидатів вимогам членства в ЄС та передбачають фінансову підтримку для реалізації поставлених завдань. Запровадження такого підходу реалізації

євроінтеграційного процесу дозволяє посилити стійкість Європейського Співтовариства, сприяти удосконаленню та поглибленню співробітництва, долаючи виклики сьогодення, та сприяти досягненню цілей та довгострокових стратегій розвитку всіх учасників.

Обговорення

Питання викликів на шляху європейської інтеграції України є складним та охоплює не лише виклики, що стосуються національного розвитку України, але й виклики, що пов'язані з євроінтеграційними розширеннями. Це потребує формування консенсусу в ЄС щодо стратегій розвитку та розширень. Вихід Великої Британії підтвердив важливість формування спільних підходів до моделей розвитку, формування фондів фінансових ресурсів та їх використання. Загострення питань щодо українського експорту в країни Європи та його транзиту в умовах військової агресії також піднімає питання співробітництва в експортній галузі, питання конкурентоспроможності продукції окремих країн-членів ЄС та необхідності удосконалення напрацьованих механізмів. В умовах поглиблення фінансових та безпекових ризиків в Україні та країн-членів ЄС важливим є підвищення ефективності використання фондів фінансових ресурсів, запровадження нових фінансових механізмів співпраці та реалізації Безпекової доктрини ЄС.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Процес євроінтеграційного розширення є складним та багатовекторним, оскільки впливає як на країни-кандидати, країни-сусіди, так і на країни-члени та ЄС в цілому. Він формує ризики та виклики для всіх учасників євроінтеграційного процесу, потребує їх нівелювання з урахуванням змін міжнародного середовища.

Важливими є постійні консультації та співпраця в частині забезпечення дотримання засад та принципів ЄС, бюджетна підтримка для забезпечення фінансової стійкості та посилення потенціалу реалізації спільних політик ЄС.

Європейська інтеграція України в сучасних умовах – це процес, що визначає не лише майбутнє нашої держави, її незалежність, суверенітет, дотримання демократичних та європейських принципів та цінностей. Це процес, що визначає майбутнє Європи та Світу, питання безпеки та непорушність національних кордонів, прагнення забезпечити сталий розвиток України в європейській системі цінностей.

Таким чином, запропонований підхід до тлумачення сутності фінансового механізму європейської інтеграції та розкриття його особливості дозволяють його удосконалювати адаптивно до змін фінансового середовища. В умовах воєнного стану в Україні відбулося впровадження нових форм фінансових відносин в у фінансовій системі країни, що сприяло активізації фінансового та соціального партнерства та сприяли зростанню фінансового потенціалу громад та об'єднань. Визначено значущу роль бюджетної, гуманітарної допомоги Україні та ініціатив, що реалізуються за підтримки національних та міжнародних донорів.

В подальших дослідженнях пропонується зосередити увагу на формуванні єдиного ринку з ЄС, узгодженні механізмів фінансування галузей, що визначають експортний потенціал ЄС і України, удосконаленні фінансового механізму євроінтеграції та

економічного, соціального, екологічного відновлення України за рахунок залучення міжнародних донорських фондів.

Конфлікти інтересів

Автор заявил, що конфлікту інтересів немає.

Список джерел інформації:

Армія дронів // АрміяINFORM. Міністерство оборони України. 2024. [Army of Drones. (2024). ArmyINFORM. Ministry of Defense of Ukraine. (In Ukrainian)]. https://armyinform.com.ua/tag/armiya-droniv/

Борзенко, О. О., Богдан, Т. П., Шаров, О. М. Розвиток фінансових інститутів ЄС та виклики для фінансової політики України: монографія. Київ: НАН України, ДУ«Ін-т екон. та прогнозув. НАН України». 2019. [Borzenko, O. O. et al. (2019). *Development of EU financial institutions and challenges for financial policy of Ukraine: Monograph*. Kyiv. (In Ukrainian)]

Гриценко, Л. Л., Боярко, І. М., Васильєва, Т. А. Пріоритети розвитку фінансової системи України в умовах євроінтеграційних процесів: монографія. Суми: Сумський державний університет. 2021. [Hrytsenko, L. L. et al. (2021). *Priorities for the development of the financial system of Ukraine in the conditions of European integration processes: Monograph*. Sumy. (In Ukrainian)]

Груздь, М. В. Особливості формування регіональної політики транскордонного співробітництва в умовах інтеграції // Інвестиції: практика та досвід. – 2012. – Вип. 6. – С. 32-34. [Gruzd, M. V. (2012). Features of forming a regional policy of cross-border cooperation in the context of integration. *Investments: Practice and Experience*, *6*, 32-34. (In Ukrainian)]

Динаміка реєстрацій благодійних організацій під час війни // Vkursi. 2022. [Dynamics of registration of charitable organizations during the war. *Vkursi*. (In Ukrainian)] https://vkursi.pro/news/content/splesk-reiestratsiy-blahodiynykh-orhanizatsiy-doslidzhennia-vkursi-ta-zagoriy-foundation-234986

Дослідження // European Business Association (EBA). 2024. [Research. *European Business Association (EBA)*. (In Ukrainian)]. https://eba.com.ua/research/doslidzhennya-ta-analityka/

Європейська інтеграція України: російський фактор // Національна безпека і оборона. 2020. – Вип. 1-2. Шеф-редактор Ю. Якименко. [Yakimenko, Yu. (Ed.). (2020). European integration of Ukraine: The Russian factor. *National Security and Defense*, *1-2*. (In Ukrainian)]. https://razumkov.org.ua/uploads/journal/ukr/NSD181-182_2020_ukr.pdf

Кількість зареєстрованих юридичних осіб за організаційно-правовими формами господарювання з розподілом за ознакою статі керівника на 01.01.2024 року // Архів Укрстату. [The number of registered legal entities by organizational and legal forms of management with distribution based on the gender of the manager as of January 01, 2024.

(2024). Archive of Ukrstat. (In Ukrainian)] https://ukrstat.gov.ua/edrpoy/ukr/EDRPU_2024/ks_opfg/arh_ks_opfg_24.htm

Консолідовані версії Договору про Європейський Союз та Договору про функціонування Європейського Союзу з протоколами та деклараціями // Верховна рада України. 30 березня 2010. [Consolidated versions of the Treaty on the European Union and the Treaty on the functioning of the European Union with protocols and declarations. (2010). Verkhovna Rada of Ukraine. (In Ukrainian)] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_b06#Text

Конституція України: Закон України № 254к/96-ВР від 28.06.1996 р. [Constitution of Ukraine: Law of Ukraine No. 54к/96-ВР dated June 28, 1996. (In Ukrainian)] https://zakon.rada.gov.ua/laws/

Кучер, Г. В., Козарезенко, Л. В. «Зелені фінанси» у міжнародному співробітництві повоєнного відновлення України // Інвестиції: практика та досвід. – 2023. – Вип. 14. – С. 18-26. [Kucher, G. V., & Kozarezenko, L. V. (2023). "Green Finance" in international cooperation of post-war restoration of Ukraine. *Investments: Practice and Experience*, *14*, 18-26. (In Ukrainian)]. https://www.nayka.com.ua/index.php/investplan/issue/view/86/65

Палагнюк, Ю. Механізми інтеграції держав центральної та Східної Європи у Європейський Союз // Державне управління та місцеве самоврядування. – 2013. – Вип. 4(19). – С. 115-125. Національна академія державного управління при Президентові України, Дніпропетровський регіональний інститут державного управління. [Palagniuk, Yu. (2013). Mechanisms of integration of Central and Eastern European states into the European Union. *Public Administration and Local Self-Government*, *4*(19), 115-125.]

Підсумки благодійного збору «#лютийдонат» // Національний банк України. 2023. [Results of the charity gathering "#lyutyidonat". (2023). *National Bank of Ukraine*. (In Ukrainian)]. https://bank.gov.ua/ua/news/all/blizko-30-tisyach-ukrayintsiv-vzyalo-uchast-u-blagodiyniy-initsiativi-lyutiydonat

Платіжний баланс України // Національний банк України. 2024. [Balance of payments of Ukraine. (2024). *National Bank of Ukraine*. (In Ukrainian)]. https://bank.gov.ua/ua/statistic/sector-external

Потапенко, В. Г., Тищенко, Ю. А., Каплан, Ю. Б. Стан розвитку громадянського суспільства в Україні (2022-2023 рр.): аналіт. доп. Київ: НІСД. 2024. [Potapenko, V. G., Tishchenko, Yu. A., & Kaplan, Yu. B. (2024). *The state of development of civil society in Ukraine (2022-2023): Analytical addition*. (In Ukrainian)]. https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.01

Про благодійну діяльність та благодійні організації: Закон України № 5073-VI від 05.07.2012 зі змінами та доп. [On charitable activities and charitable organizations. (2012). The law of Ukraine No. 5073-VI dated July 05, 2012. (In Ukrainian)] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5073-17#Text

Про гуманітарну допомогу: Закон України № 1192-XIV від 22.10.1999 зі змінами та доп. [On humanitarian aid. (1999). The law of Ukraine No. 1192-XIV dated October 22, 1999. (In Ukrainian)] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1192-14#Text

Про Заяву Верховної Ради України щодо пріоритетних питань інтеграції України до Європейського Союзу: Постанова Верховної Ради України №1806-IX від 08.10.2021. [On the statement of the Verkhovna Rada of Ukraine on priority issues of Ukraine's integration into the European Union. (2021). Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine No. 1806-IX dated October 08, 2021. (In Ukrainian)] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1806-20#Text

Сіденко, В. Р. Потенціал економічного розвитку України в контексті європейської інтеграції // Фінанси України. – 2007. – Вип. 9. – С. 143-150. [Sidenko, V. R. (2007). Potential of economic development of Ukraine in the context of European integration. *Finance of Ukraine*, *9*, 143-150. (In Ukrainian)]

Спецрахунок для допомоги силам оборони. Національний банк України. 3 червня 2024. [A special account to help the Defense Forces. (2024, June 3). National Bank of Ukraine. (In Ukrainian)] https://bank.gov.ua/ua/news/all/zi-spetsrahunku-vidkritogo-nbu-na-potrebi-oboroni-z-pochatku-povnomasshtabnoyi-viyni-pererahovano-mayje-357-mlrd-grn-za-traven-rahunok-popovnivsya-na-ponad-656-mln-grn

Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: Ратифіковано Законом України № 1678-VII від 16.09.2014. [The agreement on the association between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their member states, on the other hand. (2014). Law of Ukraine No. 1678-VII dated September 16, 2014. (In Ukrainian)] https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011/page#Text

Шевченко, Т. Г. І мертвим, і живим, і ненародженим. 1845. [Shevchenko, T. G. (1845). And dead, and alive, and unborn. (In Ukrainian)]. https://taras-shevchenko.com.ua/ua/poem/i-mertvim-i-zhivim-i-nenarozhdennim-zemlyakam-moim-v-ukraini-i-ne-v-ukraini-mo-druzhne-poslani.htm

Школьник, І. О., Семеног, А. Ю., Кремень, В. М. Європейські студії у фінансах. Суми: Сумський державний університет. 2017. [Shkolnik, I. O., Semenog, A. Yu., & Kremen, V. M. (2017). *European studios in finance*. Sumy. (In Ukrainian)]

Як донатять українці у 2023 році? // Опендатабот. 21 липня 2023. [How will Ukrainians donate money in 2023? (2023, July 21). *Opendatabot*. (In Ukrainian)]. https://opendatabot.ua/analytics/donation-growth-june

CAF's response to the conflict in Ukraine. (2023, March 26). *Charity Aid Foundation (CAF)*. https://www.cafonline.org/international-giving/humanitarian-support-for-ukraine

Legal information. (2021, April 16). *Charity Aid Foundation (CAF)*. https://www.cafonline.org/caf-bank/about-caf-bank/legal-information

Reiners, J., Snowdon, J., Jewsbury, B., & Vickers, M. (2023, June 29). Four keys to successful sustainability transformation. Unleashing the power of digital. Global Sustainability Transformation Survey Report 2023. https://www.oxfordeconomics.com/resource/global-sustainability-transformation-survey-report-2023-four-keys-to-successful-sustainability-transformation/

The Global Competitiveness Report 2023. (2023, June 20). *IMD*. https://imd.widen.net/view/pdf/kzqx1pambc/All_criteria_list_WCY_2023.pdf

Ukraine Humanitarian Appeal. (2023, February 25). *Disasters Emergency Committee (DEC)*. https://www.dec.org.uk/ukraine-one-year-on

World Economic Prospects: Growth tilts up but tight monetary policy tempers outlook. (2023, July 12). *Research Briefing*. https://www.oxfordeconomics.com/resource/world-economic-prospects-preview/

World Giving Index 2022. (2022, September 22). *Charities Aid Foundation (CAF)*. https://www.cafonline.org/about-us/publications/2022-publications/caf-world-giving-index-2022

DOI 10.47451/ecn2024-05-01

Svitlana M. Nikolaienko[2]

Accounting and analytical aspects of the cost management process [2]

Abstract: Any manufacturing enterprise functioning is always associated with producing goods and their sale, i.e., promotion from the manufacturer to the consumer. Implementing these tasks would be impossible without costs since they ensure the economic activity of the business entity. The study of costs is extremely relevant since they determine the general goal of the enterprise's activity – profit. The study object is the process of cost management, which is closely interrelated with the profit generation process. The study subject is a set of theoretical, methodological and applied approaches, studying the formation and implementation of the cost management process, considering the sectoral characteristics of food industry enterprises. The purpose is to research the economic essence of costs for their formation and effective management. To achieve this purpose and solve the tasks set, the author used general scientific and specific research methods, the grouping method and the inductive method to collect and summarize information, methods of analysis, synthesis and comparison for processing an array of information and comparing performance indicators of food industry enterprises, graphic and tabular methods for visual display of the results obtained and displaying trends, statistical methods for calculating economic indicators and the rate of their change, and abstract-logical method for forming conclusions based on the results obtained. The author concludes that in conditions of uncertainty in the external and internal environment, cost management and control come first in the effective enterprise management mechanism, from planning to cost control. Timely, complete and reliable information about all enterprise expenses, including administrative and sales expenses, and especially the cost of production, can improve the enterprise's financial condition.

Keywords: material costs, food processing, dairy industry, cost management.

Обліково-аналітичні аспекти процесу управління витратами

Анотація: Функціонування будь-якого виробничого підприємства завжди пов'язане з виробництвом товарів та їх реалізацією, тобто просуванням від виробника до споживача. Здійснення цих завдань було б неможливим без витрат, оскільки саме вони забезпечують господарську діяльність суб'єкта господарювання. Дослідження витрат є надзвичайно актуальним, оскільки вони обумовлюють головну мету діяльності підприємства – прибуток. Об'єктом дослідження є процес управління витратами що тісно взаємопов'язаний із процесом формування прибутку. Предметом дослідження є сукупність теоретичних, методичних та прикладних підходів що вивчення формування та реалізації процесу управління витратами із врахуванням галузевих особливостей підприємств харчової промисловості. Метою дослідження є вивчення економічної сутності витрат для формування та ефективного управління ними. Для досягнення мети і вирішення поставлених завдань були застосовані загальнонаукові та спеціальні методи дослідження. Метод групувань, індуктивний метод застосовувались при зборі та узагальненні інформації; методи аналізу, синтезу та порівняння – для опрацювання масиву інформації та співставлення показників діяльності підприємств харчової промисловості; графічний та табличний методи – для наочного відображення отриманих результатів та відображення тенденцій; статистичні методи – при розрахунку економічних показників та темпів їх зміни, абстрактно-логічний – при формуванні висновків за результатами одержаних результатів. Автор робить висновок що в умовах невизначеності зовнішнього і внутрішнього середовища, управління та контроль за витратами виходить на перше місце в механізмі ефективного

управління підприємствами, від планування, до контролю витрат. Своєчасна, повна та достовірна інформація про всі витрати підприємства, зокрема і адміністративні і витрати на збут та особливо собівартість продукції може покращити фінансовий стан підприємства.

Ключові слова: матеріальні затрати, харчова промисловість, молочна промисловість, управління витратами.

Вступ

Харчова промисловість України забезпечує її продовольчу безпеку, адже є стратегічно важливою та пріоритетною галуззю економіки України. Особливо гостро постає це питання в умовах бойових дій, що супроводжується не лише скороченням підприємств в результаті фізичного знищення, скороченням сировинної бази, але і зростанням темпів інфляції, зростання цін на сировину, паливно-мастильні матеріали тощо.

Вироблена продукція підприємствами харчової галузі є товарами першої необхідності, тим самим забезпечуючи стабільність в суспільстві, та продовольчу безпеку в країні.

В умовах обмежених ресурсів, інфляції та інших перешкод перед підприємствами в незалежності від розміру гостро постає питання управління витратами. Адже особливістю підприємств харчової промисловості є їх висока матеріаломісткість, чим і викликано потребу управління витратами.

Об'єктом дослідження є процес управління витратами що тісно взаємопов'язаний із процесом формування прибутку.

Предметом дослідження є сукупність теоретичних, методичних та прикладних підходів що вивчення формування та реалізації процесу управління витратами із врахуванням галузевих особливостей підприємств харчової промисловості.

Метою дослідження є вивчення економічної сутності витрат для формування та ефективного управління ними.

Виходячи з мети дослідження були визначені та вирішені наступні завдання:

- досліджена економічна сутність витрат та визначені їх основні класифікаційні ознаки підставі нормативно-законодавчої бази України;
- визначені основні етапи процесу управління витратами, означені основні напрямки реалізації кожного етапу;
- проаналізувати економічні показники діяльності підприємств харчової промисловості щодо взаємозв'язку та відповідності між матеріаломісткістю та витрато місткістю.

Для досягнення мети і вирішення поставлених завдань були застосовані загальнонаукові та спеціальні методи дослідження. Метод групувань, індуктивний метод застосовувались при зборі та узагальненні інформації; методи аналізу, синтезу та порівняння – для опрацювання масиву інформації та співставлення показників діяльності підприємств харчової промисловості; графічний та табличний методи – для наочного відображення отриманих результатів та відображення тенденцій; статистичні методи –

при розрахунку економічних показників та темпів їх зміни, абстрактно-логічний – при формуванні висновків за результатами одержаних результатів.

Проблеми щодо процесів пов'язаних із процесом управління витратами цікавили багатьох науковців в різні періоди. Так дослідження особливостей формування системи управління витратами та її складових здійснили такі вітчизняні вчені як С.Ф. Голов, В.М. Гордієнко, М.Г. Грещак, І.Є. Давидович, А.Г. Загородній, Т.І. Карпова, О.Є. Кузьмін, О.Г. Мельник, В.О. Озеран, О.О. Попов, І.Б. Садовська, Ю.С. Цал-Цалко багато інших. Ними визначені реальні напрямки зменшення витрат та визначені основні напрямки розробки управління ними із застосуванням підходів до сутнісного розуміння управління витратами щодо ідентифікації сучасних методів та принципів (*Артемонова і Акулюшина, 2018*; *Атамас, 2006*; *Балан, 2014*; *Біла та ін., 2012*; *Великий та ін., 2009*; *Голов, 2008*; *Давидович, 2008*).

Питанням управління витратами пов'язаними із формуванням прибутку присвятили свої наукові праці такі видатні науковці як Н. Андрющенко, А. Бабо, І. Бланк, Ф. Бутинець, М. Вахрушина, С. Голов, М. Войнаренко, І. Давидович, М. Данилюк, Г. Козаченко, Г. Крамаренко, О. Кузьмін, В. Лещій, В. Лук'янова, О. Марюта, Д. Міддлтон, І. Несторишен, О. Орлов, В. Палій, А. Пилипенко, Ю. Погорєлов, А. Поддєрьогін, С. Покропивний, Є. Рудніченко, Є. Рясних, В. Савчук, Д. Сурмай, А. Турило, Ю. Цал-Цалко, А. Шеремет, Й. Шумпетер та ін. (*Голов, 2008*; *Давидович, 2008*).

Результати дослідження

Відповідно до п. 21 ПСБО 16 «Витрати» витрати операційної діяльності групуються за такими економічними елементами:

- матеріальні затрати;
- витрати на оплату праці;
- відрахування на соціальні заходи;
- амортизація;
- інші операційні витрати (*Положення…, 1999*).

Управління витратами – це процес контролю, планування та оптимізації витрат у підприємстві чи особистому бюджеті з метою досягнення фінансової ефективності та стабільності. Цей процес включає в себе етапи які показані в Додатку (*Рисунок 1*).

Управління витратами може бути важливим інструментом як для бізнесу, так і для особистих фінансів, допомагаючи забезпечити фінансову стабільність та досягнення поставлених цілей.

Аналіз витрат може включати класифікацію витрат за категоріями, виявлення основних джерел витрат та оцінку їх впливу на загальну фінансову ситуацію.

Етап встановлення бюджету передбачає визначення максимальних допустимих витратних обсягів на певний період часу (наприклад, місяць, квартал, рік). Бюджет може бути складений для різних категорій витрат або загального бюджету.

Контроль витрат, як один з етапів процесу управління витратами, містить спостереження за витратами в реальному часі та порівняння їх із запланованими

значеннями. Це може включати ведення обліку витрат, використання фінансових програм або додатків для моніторингу витрат.

Етап оптимізації містить пошук і реалізацію можливостей для зниження витрат без втрати якості або ефективності. Це може включати перегляд та переговори з постачальниками, пошук більш ефективних або економічних альтернатив, а також впровадження удосконалень у процесах.

Заключний етап процесу управління витратами «аналіз результатів» передбачає оцінку ефективності проведених заходів з управління витратами. Це допомагає визначити, наскільки успішно було здійснено управління витратами та чи необхідні корективи в стратегії.

Цей процес може бути призначений як для бізнес-організацій, так і для особистих фінансів. Він допомагає забезпечити ефективне використання ресурсів і підтримує фінансову стабільність

Вивчення процесу управління витратами неможливе без ретельного аналізу галузі. Для більш детального аналізу вибрано підприємства молочної промисловості. Вибірка сформована з лідерів галузі, які є флагманами галузі, та ведуть якісне управління витратами. Однак підприємства, які потрапили в вибірку різні за розмірами та виробничою потужністю переробки молока.

Для аналізу були обрані наступні підприємства: ПАТ «Чернігівський молокозавод», ПрАТ «Тернопільський молокозавод», ТДВ «Яготинський маслозавод», ТОВ «Данон Дніпро», ПрАТ «Вімм Білль Данн Україна», АТ «Житомирський маслозавод», ПрАТ «Комбінат Придніпровський», ПрАТ «Дубномолоко», ПрАТ «Обухівський молокозавод», ТОВ «Молочна компанія «Галичина».

В результаті аналізу показників діяльності підприємств які потрапили в вибірку за 2020-2021 роки слід відмітити зростання показника чистого доходу від реалізації готової продукції, але ці показники мають найвище значення в підприємствах які входять в інтегровані об'єднання (*Рисунок 2*).

Але в той же час паралельно зі зростанням даного показника, слід відмітити і зростання показника собівартості реалізованої продукції.

Найбільше зростання собівартості реалізованої продукції відбулося на ПрАТ «Вімм Білль Данн Україна» (на 60,61%), ТОВ «Молочна компанія «Галичина» (на 29,91%) та ПрАТ «Тернопільський молокозавод» (на 23,88%).

Але на ПрАТ «Комбінат Придніпровський» та ПрАТ «Обухівський молокозавод» ми бачимо зменшення собівартості реалізованої продукції відбулося зменшення на 18% та на 0,55% відповідно.

Варто відмітити, що на більшості підприємств які досліджуються відзначаються збитки (цей показник склав порядку 50%), що є результатом перевищення темпів зростання собівартості продукції над темпами зростання показника чистого доходу.

Дані припущення підтвердженні і відповідними розрахунками за даними, які потрапили у вибірку, зокрема за даними 2020-2021 року за рахунок зростання вартості основної сировини, вартості енергоносіїв та інших допоміжних матеріалів (*Таблиця 1*).

Значна частка матеріальних ресурсів у структурі чистого доходу молочного підприємства ставить залежність ефективності його діяльності від кількості та якості

молочної сировини. На сьогодні підприємства молочної промисловості використовують різні способи забезпечення своєї діяльності необхідними обсягами молочної сировини. До таких відноситься: пряма організація збирання молока у домогосподарств населення, компенсаційні умови співпраці, партнерські умови співпраці з домогосподарствами, холдингова інтеграція з сільськогосподарськими виробниками тощо.

Підвищення матеріаломісткості автоматично тягне зростання такого показника як витрати на 1 гривню чистого доходу, який є результатом зростання всіх витрат, зокрема і адміністративних витрат та витрат на збут (*Рисунок 3*).

В результаті проведеного аналізу нами було визначено, що темпи зростання матеріаломісткості та витрат на 1 грн чистого доходу не мають певних тенденцій. Так зростання темпів зміни матеріаломісткості ми бачимо на ПрАТ «Тернопільський молокозавод», ТОВ «Данон Дніпро», АТ «Житомирський маслозавод», ПрАТ «Комбінат Придніпровський», ПрАТ «Дубномолоко», ПрАТ «Обухівський молокозавод» та ТОВ «Молочна компанія «Галичина». Зменшення темпів змін витрат на 1 грн чистого доходу відбувається на ПрАТ «Вімм Білль Данн Україна» та ПрАТ «Комбінат Придніпровський». Заслуговує уваги невідповідність темпів зміни матеріаломісткості та витрат на 1 грн чистого доходу. Так на ПАТ «Чернігівський молокозавод» ми спостерігаємо зниження матеріаломісткості на 25,5% при зростанні витрато місткості на 7,23%, а на ПрАТ «Комбінат Придніпровський» навпаки: матеріаломісткість зростає на 6,25% при зменшенні витрато місткості на 7,5%.

Дискусія

Незважаючи на численні наробки існує ряд питань що потребують подальшого дослідження. Висока собівартість вітчизняної продукції, відсутність фінансових ресурсів для розвитку, відсутність системи управлінського розвитку, адекватного до потреб управління потребує відкерівників підприємств упровадження та застосування сучасних технологій управління витратами, їх економії та запобігання втратам. Тому виживання підприємств різних галузей напряму залежить від вибору найбільш придатної конфігурації елементів системи управління витратами в умовах обмежених фінансових і економічних ресурсів.

Висновок

Отже, в умовах невизначеності зовнішнього і внутрішнього середовища, управління та контроль за витратами виходить на перше місце в механізмі ефективного управління підприємствами, від планування, до контролю витрат.

Цілком очевидно, що своєчасна, повна та достовірна інформація про всі витрати підприємства, зокрема і адміністративні і витрати на збут та особливо собівартість продукції може покращити фінансовий стан підприємства. На сьогодні існує безліч способів контролю за витратами в залежності від розміру підприємства, стадії життєвого циклу підприємства. Це можу бути від новітніх програм, до таблиць Excel.

Тобто, управління витратами на підприємствах вийшло за межі впливу на виробничі витрати та розповсюдилось на всі витрати, які виникають або можуть з'явитися у процесі діяльності підприємства.

Конфлікти інтересів

Автор заявив, що конфлікту інтересів немає.

Список джерел інформації:

Артемонова, Н. С., Акулюшина, М. О. Управління витратами: навч. посібник. Київ: Центр учбової літератури. 2018. [Artamonova, N. S., & Akulyushina, M. O. (2018). *Cost management: Textbook*. Kiev: Center for Educational Literature. (In Ukrainian)]

Атамас, П. Й. Управлінський облік: навчальний посібник. Дніпропетрівськ-Київ: Центр учбової літератури. 2016. [Atamas, P. Y. (2006). *Management Accounting: Textbook*. Dnepropetrovsk, Kiev: Center for Educational Literature. (In Ukrainian)]

Балан, А. А. Система управління витратами на промисловому підприємстві // Економіка: реалії часу. – 2014. – Вип. 3. – С. 43-49. [Balan, A. A. (2014). Cost management system at an industrial enterprise. *Economics: The Realities of Time*, *3*, 43-49. (In Ukrainian)]

Біла, О. Г., Боднарюк, І. Л., Мединська, Т. В. Управління витратами підприємства: теорія та практика: монографія. – Львів: Видавництво ЛКА. 2012. [Belaya, O. G. et al. (2012). *Enterprise cost management: Theory and practice: Monograph*. Lviv: LKA Publishing House. (In Ukrainian)]

Великий, Ю. М., Прохорова, В. В., Сабліна, Н. В. Управління витратами підприємства. Харків: Видавництво «ІНЖЕК». 2019. [Veliky, Yu. M., Prokhorova, V. V., & Sablina, N. V. (2009). *Enterprise cost management*. Kharkiv: INJEK Publishing House. (In Ukrainian)]

Голов, С. Ф. Управлінський облік: підручник для ВНЗ. 4-е вид. Київ: Лібра, 2008. [Golov, S. F. (2008). *Management accounting: Textbook for universities* (4th ed.). Kiev: Libra. (In Ukrainian)]

Грицай, О. І. Застосування методів управління витратами в інноваційній діяльності підприємства // Вісник НУ «Львівська політехніка»: Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку. – 2011. – Вип. 720. – С. 9-16. [Gritsai, O. I. (2011). Application of cost management methods in the innovation activity of the enterprise. *Bulletin of NU "Lviv Polytechnic": Management and Entrepreneurship in Ukraine: Stages of Formation and Problems of Development*, *720*, 9-16. (In Ukrainian)]

Давидович, І. Є. Управління витратами: навч. посібник. Київ: Центр навчальної літератури. 2008. [Davidovich, I. E. (2008). *Cost management: Textbook*. Kiev: Center for educational literature. (In Ukrainian)]

Литовченко, О. Ю. Управління витратами на підприємстві: теоретичний аспект // Інфраструктура ринку. 2019. – Вип. 31. – С. 301-309. [Litovchenko, O. Yu. (2019). Cost management at the enterprise: a theoretical aspect. *Market Infrastructure*, *31*, 301-309. (In Ukrainian)]. http://www.market-infr.od.ua/journals/2019/31_2019_ukr/47.pdf

Маркіна, І. А., Вороніна, В. Л., Рудич, А. І. (2020). Теоретичні основи управління витратами підприємства // Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. 2020. – Вип. 4(115). – С. 140-147. [Markina, I. A. et al. (2020). Theoretical foundations of enterprise cost management. *State and Regions. Series: Economics and Entrepreneurship*, *4*(115),

140-147. (In Ukrainian)]. http://www.econom.stateandregions.zp.ua/journal/2020/4_2020/26.pdf

Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 16 «Витрати» Затверджене наказом Мінфіну від 31.12.1999 р. №318 Зареєстроване в Мін'юсті 19.01.2000 р. за №27/4248. У редакції, чинній станом на 05.09.2016 р. [Accounting regulation (standard) 16 "Expenses" approved by the order of the Ministry of Finance of 31.12.1999 No. 318 registered with the Ministry of Justice on 19.01.2000 for No. 27/4248. as amended as of 05.09.2016. (In Ukrainian)]

Чорна, М. В., Смірнова, П. В., Бугріменко, Р. М. Управління витратами: навчальний посібник. Харків: ХДУХТ, 2017. [Chernaya, M. V. et al. (2017). *Cost management: Textbook*. Kharkiv: KHSUHT. (In Russian)]

Додатки

Рисунок 1. Основні етапи процесу управління витратами (автор)

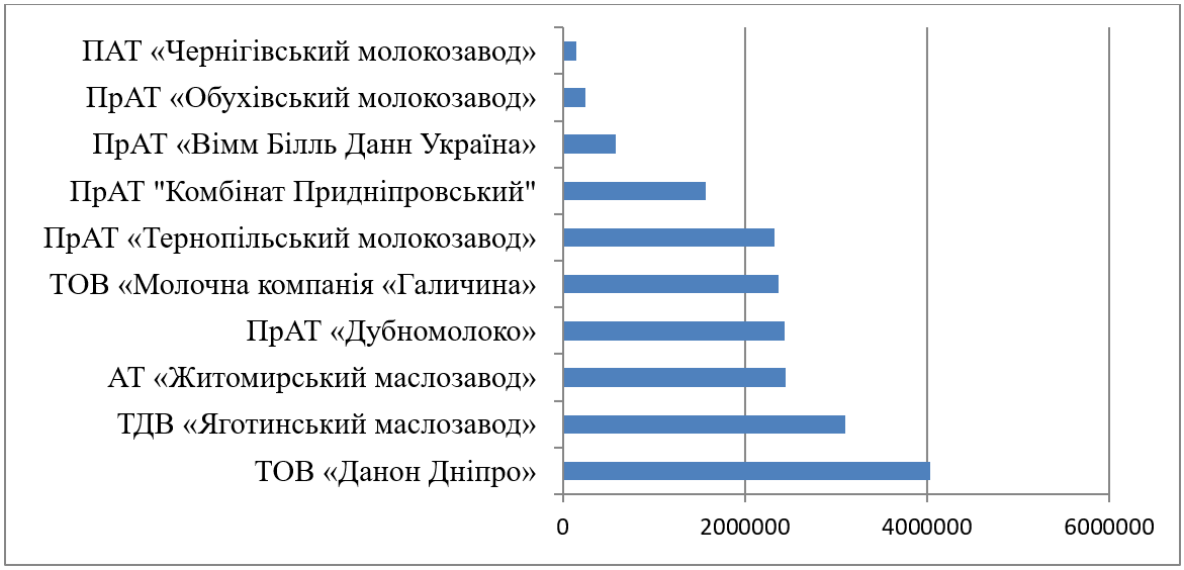


Рисунок 2. Чистий дохід від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг) в 2021 році, тис.грн. Джерело: складено за даними *(Артемонова і Акулюшина, 2018)*

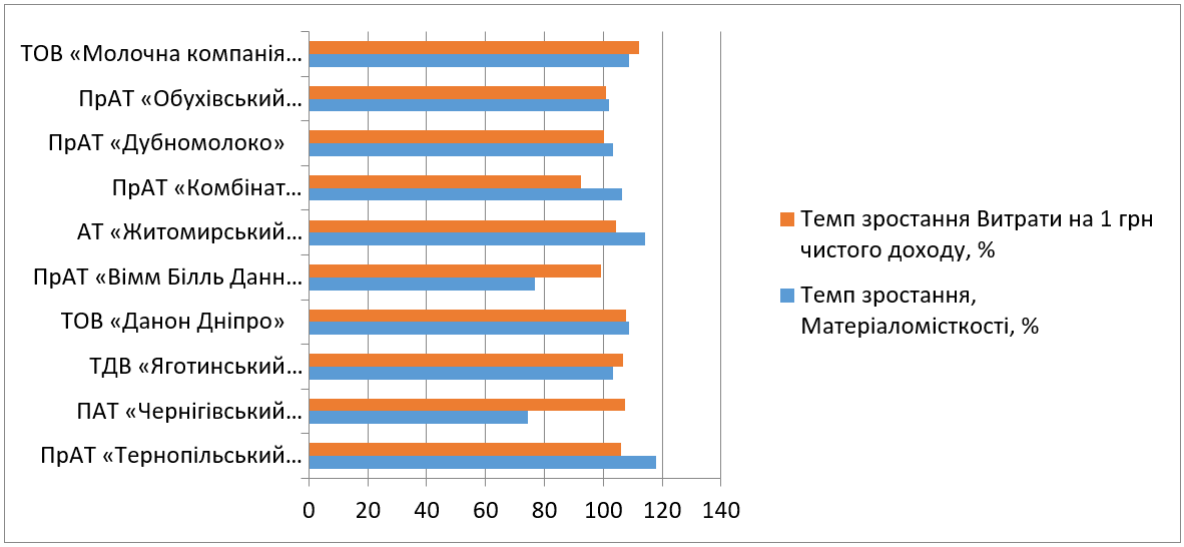


Рисунок 3. Відповідність між темпами зміни матеріаломісткості та витрат на 1 грн чистого доходу (автор)

Таблиця 1. Аналіз зміни економічних показників діяльності підприємств молочної промисловості за 2022р. (*Артемонова і Акулюшина, 2018*)

№	Назва підприємства	Темп зміни чистого доходу від реалізації продукції (товарів, робіт, послуг),%	Темп зміни собівартості реалізованої продукції (товарів, робіт, послуг), %	Темп зміни чистого фінансового результату: прибуток (збиток), %
1	ПрАТ «Тернопільський молокозавод»	116,83	123,88	-146,00
2	ПАТ «Чернігівський молокозавод»	100,09	107,33	397,00
3	ТДВ «Яготинський маслозавод»	98,02	104,76	-149,00
4	ТОВ «Данон Дніпро»	103,21	111,21	-57,00
5	ПрАТ «Вімм Білль Данн Україна»	162,04	160,61	104,00
6	АТ «Житомирський маслозавод»	110,78	115,62	-45,00
7	ПрАТ «Комбінат Придніпровський»	88,29	82,02	190,60
8	ПрАТ «Дубномолоко»	108,00	108,16	108,00
9	ПрАТ «Обухівський молокозавод»	98,48	99,45	-
10	ТОВ «Молочна компанія «Галичина»	115,95	129,91	115,95

DOI 10.47451/hum2024-05-01

Olexiy M. Varypaiev[3], *Andrii S. Minosian*[4]

Philosophical, historical, and cultural aspects of humanitarian training in the educational environment [3]

Abstract: In the Ukrainian higher education system, in addition to challenges such as the impact of COVID-19, quarantine measures, and the Russian invasion, there are trends such as a flood of information that is not easy to absorb, and the prevalence of multi-subject courses that break interdisciplinary coherence and promote fragmented understanding and technocentric thinking instead of a holistic worldview. A broader shift in education toward personal and cognitive development is underscored by the saturation of the curriculum with specialized subjects. The study of innovative teaching methodologies in this context seems appropriate and justified. The study subject is the consideration of creative teaching methods from the viewpoint of the humanistic concept of education. The purpose is the analysis of research issues of humanization of education, and the emergence and separation of disciplines with a focus on universal values. The article analyzes and considers such trends in the Ukrainian higher education system as the explosion of information and the spread of multidisciplinary courses, disrupting interdisciplinary coherence and promote fragmented understanding and technocentric thinking instead of a holistic view of the world. A broader shift in education toward personal and cognitive development is underscored by the saturation of the curriculum with specialized subjects. The study of innovative teaching methodologies in this context seems appropriate and justified. The authors emphasize that the main task of humanization and humanization of education is to immerse people in reaching humanitarian culture in the educational framework and various student engagement forms. This will counteract the one-dimensional nature of the individual imposed by professional specialization and promote a more holistic development. The historical context of the term defines "humanistic" as a reflection of a value system that uplifts people by providing policies and institutions that promote human well-being, happiness, justice, and empowerment. Thus, "humanitarian" refers to professions, focusing on understanding and interpreting human behavior, spirituality, and cultural phenomena. The final version notes that humanism is a dynamic worldview that evolves and is subject to diverse interpretations in different social groups and cultures, including differences between Western and Eastern perspectives. The debate about humanism in education continues unabated in the context of Ukraine, forming its identity according to Western models.

Keywords: humanization of education, humanization, identity formation, value system, personality needs, humanistic education.

Філософські та історико-культурні аспекти гуманітарної підготовки фахівців в освітньому середовищі

Анотація: В українській системі вищої освіти, крім таких проблем, як вплив COVID-19, карантинні заходи та російське вторгнення, існують такі тенденції, як потік інформації, яку нелегко засвоїти, і переважання багатосуб'єктних курсів, які порушують міждисциплінарну узгодженість і сприяють фрагментарному розумінню і техноцентричне мислення замість цілісного світогляду. Насичення навчальної програми спеціалізованими предметами підкреслює більш широкий зсув в освіті, спрямований на особистісний і когнітивний розвиток. Вивчення інноваційних методик викладання в цьому контексті видається доречним і виправданим. Предметом дослідження є розгляд інноваційних методів навчання з точки зору гуманістичної концепції освіти. Метою дослідження є аналіз проблем гуманізації освіти, появи і виділення дисциплін з акцентом на

загальнолюдські цінності. У статті проаналізовано та розглянуто такі тенденції системи вищої освіти України, як сплеск інформації та поширеність багатопредметних курсів, які порушують міжпредметну узгодженість, сприяючи фрагментованому розумінню та техноцентричному мисленню замість цілісного світогляду. Насиченість навчального плану спеціалізованими предметами підкреслює ширший зсув в освіті як до особистісного, так і до когнітивного розвитку. Дослідження інноваційних методологій навчання в цьому контексті виглядає доцільним та виправданим. Автори підкреслюють, що головним завданням гуманізації та гуманітаризації освіти є занурення людей у багатство гуманітарної культури в освітніх рамках і різних формах залучення студентів, що дозволить протидіяти одновимірній природі особистості, нав'язаній професійною спеціалізацією, сприяючи більш цілісному розвитку. Історичний контекст розгляду концепту визначає «гуманістичний» як відображення системи цінностей, яка підносить людей, передбачаючи дії та інституції, спрямовані на сприяння добробуту людей, щастя, справедливості та розширення можливостей, таким чином «гуманітарний» відноситься до професій, зосереджених на розумінні та інтерпретації людської поведінки, духовності та культурних феноменів. В кінцевому варіанті зазначається, що гуманізм являє собою динамічний світогляд, який розвивається з часом і підлягає різноманітним інтерпретаціям у різних соціальних групах і культурах, включаючи відмінності між західноєвропейською та східною перспективами. У контексті України, яка формує свою ідентичність за західними зразками, дебати навколо гуманізму в системі освіти не вщухають.

Ключові слова: гуманізація освіти, гуманітаризація, формування ідентичності, система цінностей, потреби особистості, гуманістичне виховання.

Introduction

In the Ukrainian higher education system, in addition to challenges such as the impact of COVID-19, quarantine measures, and the Russian invasion, there are trends such as a flood of information that is not easy to absorb, and the prevalence of multi-subject courses that break interdisciplinary coherence and promote fragmented understanding and technocentric thinking instead of a holistic worldview. A broader shift in education toward personal and cognitive development is underscored by the saturation of the curriculum with specialized subjects. The study of innovative teaching methodologies in this context seems appropriate and justified.

The study subject is the consideration of innovative teaching methods from the point of view of the humanistic concept of education.

The purpose is the analysis of research issues of education humanization, and the emergence and separation of disciplines with a focus on universal values.

The proposed goal can be achieved by solving research problems related to the historical genesis of the emergence of the education humanization paradigms, understanding the interrelations of scientific and social values, analyzing the dichotomy between the natural sciences and the humanities, and satisfying the spiritual needs of the individual through educational opportunities.

The main methods of studying this problem were the method of research and analysis of scientific texts, the method of extrapolation and comparative methods, the comparative historical method, and the method of extrapolation. They contributed to a comprehensive analysis of the issues of humanizing and humanizing knowledge and its implementation in education.

Many contemporary scientific studies recognize the problem of understanding the relationship between science and social values as a prerequisite for the modern development of science and education. In this regard, we can single out the works of R. Mardonov, Z. Bell, G. Dunne, M. Kultaieva, A. Minosian, O. Varypaev (*Jurchenko et al., 2020*; *Kultaieva & Grygorova, 2023*; *Dunne, 2023*). The challenges and contradictions of a highly unstable world have led to different and even conflicting assessments of the role of science in society, ranging from scientific populism to anti-scientific sentiments. Supporters of this trend argue that science itself is an absolute value that can solve all social problems: economic, political, social, cultural, and so on (*Ball, 2003*). At the same time, there are social and humanitarian disciplines rejected as having no positive value. In this context, it is necessary to instill an understanding of the importance of the paradigm of humanism, which develops a holistic worldview, in the higher education system.

Creating a humanistic educational system

The most significant research materials on the humanization of education date back to the fifteenth century, when European universities began a movement to include disciplines that focused on human values in the educational process. However, the dominance of the natural sciences and further technological advances in modern times have overshadowed this humanizing trend. A cognitive, scientific approach has been favoured in educational practice (*Mardonov, 2021, Minosian et al., 2019*). The emphasis was shifted to the targeted application of scientific knowledge and methods in technology development. However, this turn came at the cost of developing scientific thinking at the spiritual and moral education expense and splitting a single culture into separate humanitarian and technical spheres. The idea that personal development requires a holistic approach to education was central to the discussion among intellectuals. This, in turn, requires continuous improvement of the educational system and, in particular, educating the pedagogical staff in schools and technical universities, which continue to be the center of the global and Ukrainian educational system (*Mardonov, 2021, p. 290*).

Addressing the imperative to humanize education requires examining fundamental concepts. "Humanism" is broadly defined as the system of values that shapes human identity through actions that promote individual well-being and support the inalienable right to live with dignity. In a narrower sense, it refers to the cultural movement of the Renaissance in Europe, particularly in Italy and Germany. In the mainstream of this movement, humanism was originally a specific intellectual endeavor centered on philological studies, including rhetoric, grammar, poetry, ethics, and philosophy. Rooted in a deep respect for language, Renaissance humanists sought wisdom primarily in ancient texts and sought to elevate human character through acquiring ancient knowledge (*Ball, 2003, pp. 10-15*).

Later, the term "humanities" was extended to include a cluster of disciplines known as the humanities, which explore various aspects of human spirituality, such as philology, ethics, philosophy, history, aesthetics, law, etc. As a result, scholars in these fields began to be called humanitarians, to distinguish them from humanists, who support humanistic ideals regardless of their profession.

In the philosophical discourse, the sharp contrast between the humanities and the natural sciences was emphasized by the Baden school of neo-Kantians, especially G. Rickert. They

argued that the natural sciences study objective phenomena to describe the general, typical, and universal laws of nature, while the humanities study the manifestations of the human spirit, with an emphasis on the subjectivity and uniqueness of human existence. G. Rickert also argued that research in the humanities favors values that are inherent in human life, such as significant historical events, the lives of influential figures, and classic works of literature.

This dichotomy between the humanities and the natural sciences is also supported by those advocating phenomenological hermeneutics. They observed that while the natural sciences are concerned with the explanation of natural phenomena, the humanities are concerned with understanding the intricacies of human life and its manifestations.

The historical context of the term defines "humanistic" as a reflection of a value system that uplifts people by providing policies and institutions that promote human well-being, happiness, justice, and empowerment. Thus, the term "humanities" refers to professions focusing on the understanding and interpretation of human behavior, spirituality, and cultural phenomena, which are collectively referred to as the humanities (*Minosian et al., 2019, p. 335*).

Thus, in education, humanization implies creating an educational system that is in harmony with the values and ideals of the humanist tradition. At the same time, humanization implies enriching educational programs with humanitarian content. This requires the introduction of humanitarian disciplines into the curriculum.

The distinction between the "humanization of education" and the "humanization of training" reveals clear vectors for the reform of higher education. In the broadest sense, humanization aims to promote a humane educational environment in society that is consistent with humanistic ideals, including personal autonomy, social justice, and human dignity. In contrast, humanization specifically refers to the content and methodology of university education (*Borinsteyn, 2014, pp. 30-31*).

It is significant to note that humanization is more than just the expansion of the humanities in the curriculum; it is the fundamental inculcation of humanistic values in young people and the formation of their personalities. The main challenge, which is particularly difficult to implement in practice, is to change the educational system so that it conforms to humanistic norms and ideals. This means that the state guarantees citizens the realization of their human rights and freedoms, which leads to a decent life in connection with their chosen profession.

Another mission is to immerse people in reaching humanitarian culture through educational frameworks and various forms of student engagement. Its goal is to counteract the one-dimensional nature of the individual imposed by professional specialization and to promote a more holistic development.

There are significant differences in the interpretation and solution of the problems of humanization and education humanization, both theoretically and practically. Humanism is a dynamic worldview that evolves. It is subject to different interpretations in different social groups and cultures, including differences between Western and Eastern perspectives. The debate about humanism in education continues unabated in the context of Ukraine, which is forming its identity according to Western models.

The practical challenges that arise in this discourse are often related to balancing individual and public interests, reconciling the rights of younger generations to education with the real capabilities of the state, guaranteeing graduates employment according to their degrees, and

holding universities accountable for quality education while regulating internal relations among students, teachers, and administrators. Humanistic elements in the educational system include the promotion of a creative learning environment, the promotion of opportunities for the general cultural enrichment of students, the management of material aspects of student life, and the organization of leisure activities. Adopting humanist ideals means putting individual interests before institutional interests, and defending the student's position concerning the administrative structure. Despite their proclamation, however, these ideals are difficult to realize (*Minosian & Varypaev, 2023a*).

Those who pursue higher education in socially undervalued professions in such societies quickly become disillusioned because their qualifications cannot be translated into meaningful opportunities. This reality underscores the notion that humanism seems to be a luxury that is reserved for those states that are economically prosperous and governed by democratic principles. The ideal of a humanistic approach to higher education seems feasible in societies where the interests of the state and the individual are harmoniously balanced. However, bridging the gap between humanistic ideals and their practical realization remains a constant challenge in the real world of business.

The desire for human dignity, increased prosperity, and personal freedom is universally accepted, although understood from different perspectives. Humanism emphasizes the dignity of the individual, autonomy, and freedom of belief. Humanism, rooted in European soil, is increasingly converging with the values of liberal democracy.

The constant tension between individual aspirations and state interests, between the right to free choice of occupation and employment opportunities in the labor market, and between access to education and the economic capacity of the state to support higher education, becomes apparent when the humanization concept is translated into practice. Thus, implementing the educational paradigm requires compromising between idealistic aspirations and pragmatic realities.

Concepts for studying and understanding personality

Recently, there has been a significant paradigm shift in approaches to higher education. Instead of striving to educate only qualified professionals, the emphasis is being shifted to meeting the spiritual needs of the individual through educational opportunities. This indicates a significant trend - the de-ideologization and humanization of higher education.

In this new context, humanities research is increasingly saturated with personal issues. The emphasis is shifting from activity-oriented concepts to the study and understanding of the individual. This means that educational goals are no longer limited to preparing students for specific jobs. Instead, they are designed to develop and meet the needs of the individual as a whole person (*Minosian & Varypaev, 2023b*).

This evolution reflects a long-standing debate among scientists and philosophers about human nature. Whether the whole person can be understood through his or her activities, or whether the personality aspect is independent and cannot be completely reduced to the sphere of activities. Thus, higher education's focus on personal development reflects the belief that each person has a unique inner world that is not completely replicated or understood by their outer actions (*Kultaieva, 2018*).

In the contemporary discourse on understanding human nature, various approaches and discussions are constantly being developed. First and foremost, it is significant to recognize that there is no single formula or approach that can provide an exhaustive explanation of the complexity of human nature. To say that an exclusively activity-based approach is inadequate is no longer to deny its importance in the context of an understanding of the person.

Activity theory, which emphasizes interaction with the environment through specific activities, makes it possible to consider a person as an active participant in his or her life. It reveals to us how the psyche, like the personality traits, interacts with the various forms of activity that shape it. Significantly, this approach allows us to consider the processes of "depersonalization" and "appropriation" when an individual interacts with the culture, norms, and values of the world around him/her.

In the humanities and education, activity theory has become an integral part of understanding and learning. It helps us to broaden our understanding of how students interact with the learning material and how they acquire knowledge. In particular, it provides an opportunity to analyze and optimize learning processes, considering the interaction with the social environment and context. In this way, activity-based approaches are not only relevant in modern pedagogy, but they are also a necessary tool for a successful educational practice. (*Minosian et al., 2020*).

The education of students is one of the most controversial and complex issues in higher education, central to discussions among both educators and psychologists.

The answer to the question of whether it is necessary and ethical to educate adults depends to a large extent on how we understand the essence of education. If we consider it as a process of forming certain qualities in a person to meet certain standards or needs, then it is possible to refuse such education. However, if we understand education as creating conditions for self-developing the individual during university education, the answer is yes.

The task of a teacher in higher education is not limited to transmitting information. Although books and computers are also sources of knowledge, the teacher plays a unique role in shaping the cultural environment at the university. He conveys not only a specific set of knowledge and skills, but also a worldview, values, attitudes, and professional behaviors.

A specialist in the field not only teaches students but also influences their development as individuals and introduces them to a particular culture. Live communication with him is a key element of the learning process, which contributes not only to the transfer of knowledge but also to the formation of cultural heritage and the development of society (*Minosian & Yegorov, 2016*).

The principle that only one personality can influence the development and formation of other personalities is still valid today, and only a character can form a true character. Education, therefore, is not just the transfer of knowledge, but also the construction of a system of relationships between people.

Modern pedagogy, like psychology, increasingly tends to see education as creating conditions for individual self-development. It is the abandonment of the goal-oriented formation of personality according to a certain ideal in favor of creating an environment conducive to the personal development of each individual.

The principles of the humanistic approach reject any attempts to directly influence the individual, even if they are educational or therapeutic. Everyone has the right to make their own choices and should live their lives independently, without shifting responsibility for their actions to others.

The uniqueness and originality of each individual constitute the true wealth of society. Any restriction on their free development and expression is detrimental not only to the individual but also to society as a whole. Therefore, the educator cannot determine the path of personality development in advance but must accept it as it is. Only in this case, a fruitful interaction between the educator and the person being educated is possible, which is the key to a successful educational process.

The main goal of the tutor is to open up to the tutee a wide range of possibilities that are often unknown to the child, adolescent, or young person due to their limited life experience, lack of knowledge, and understanding of cultural values. The educator should not and cannot hide his or her attitude toward a particular choice when disclosing such options. However, you should avoid expressing this attitude in a way that is too explicit and directive. You should always leave the student the right to make independent decisions. Otherwise, the responsibility for any consequences of the decisions made will be removed from the student and transferred to the educator.

Another fundamental requirement for organizing education is a constant respect for the student's personality as a full and equal partner in any shared activity. The idea of equality, partnership, and mutual respect among participants is at the heart of what's known as collaborative pedagogy. Its principles are central to university education. As many scientists and educators confirm, the greatest effect in teaching and education is achieved in situations where the teacher and student jointly solve a problem to which neither of them knows the answer. In this context, the principles of partnership and cooperation reach their maximum expression.

Humanizing and forming specialist competencies

Humanization is first and foremost the immersion of young people in the cultural heritage of humanity. It is often seen as a significant complement to vocational education. The main goal of humanization in education is twofold: first, it aims to counteract the narrowness or one-dimensionality of vocational training, thus broadening the perspectives of a young professional. Second, it is an attempt to instill in them the basic principles of a humanistic worldview. In essence, humanization serves as a way to imbue young people with civilized society's spiritual values and contribute to their cultural development, going far beyond mere professionalization.

Tensions arise when trying to find a balance between humanization and professionalization in the educational framework, despite the unanimous recognition of the importance of humanization. The problem is to coordinate these elements in the learning process.

The importance of professionalization cannot be overemphasized, as it is fundamental to forming specialist competencies and defining the university education purpose. Humanization, however, is necessary for educating a fully developed personality. Professionalization provides people with the necessary skills to be able to function effectively in the social activities of society. However, individuals must assimilate into cultural spheres, accepting their values and content, in addition to functional adaptation. This process of assimilation not only shapes an individual's

spirituality and worldview but also defines their place and role in society. Without this spiritual enrichment, people are in danger of becoming mere functionaries of the social system, devoid of deeper meaning or individuality (*Minosian et al., 2020, p. 272*).

Personality emerges as a result of the fusion of individuality and cultural influences. It is both a product of and a contribution to culture. Outside culture, people can be marginalized or relegated to technical roles without deeper meaning. A profession becomes deeply meaningful to people when it is consistent with their aspirations for individuality in a rich cultural diversity and contributes to realizing their unique humanity. Forming a truly human personality goes beyond the scope of mass consciousness and its often-limiting stereotypes. Only a "mass man" without inner spiritual depth can be educated by mass consciousness. The essence of an individual's humanity lies in his or her innate spirituality and cultivated view of the world, nurtured through participation in culture. The humanism essence is the promotion of the unrestricted expression of the individual in culture, to facilitate his autonomous self-determination. In this way, humanization is inseparably linked with humanism, which opens up the profound depths of culture to the younger generation and allows them to immerse themselves in the vast expanse of the world's cultural heritage.

When discussing the balance between humanitarian and professional components within the curriculum, we are faced with competing interests of both humanitarians and professionals. Professionals often argue for minimizing the humanities block due to the cumulative growth of scientific information. Humanists, on the other hand, emphasize the richness of humanistic culture and advocate the inclusion of new courses and specializations. However, the only way to solve the problem constructively is to find a reasonable compromise.

So far, the distribution of the total number of teaching hours for the humanities block has been extremely uneven, and the key question is the effectiveness of using these resources in humanities education.

Implementing humanities education in practice is a matter of two significant questions. First, what the humanities block's disciplinary matrix should be? And how should the humanities be taught to maximize their impact? Addressing these issues is key to humanities education's effectiveness.

Forming the humanitarian matrix requires a pragmatic compromise in which different points of view are heard and considered in developing the curriculum. We believe that human-centered disciplines that embrace the cultural worlds, humanistic ideals, and concepts shaping social, political, and legal systems over the world should be at the core of the humanities disciplinary matrix (*Varypaev et al., 2021, p. 29*).

However, it is worth paying attention to the trend that the humanitarian block is increasingly filled with disciplines that promote professionalization rather than contribute to the individual's holistic development. For example, the need for foreign language learning is undeniable in both professional and humanitarian education. Foreign language skills are critical for highly skilled professionals and for the humanities. However, the growing volume of language learning at universities is often lumped into the humanities due to nomenclature. However, the humanization essence is to educate the students' personal qualities through studying general cultural disciplines. It does not only focus on acquiring professional skills (*Minosian & Varypaev, 2022, p. 59*).

Although history has traditionally been an integral part of humanities education, university history curricula have changed in the last years. It is necessary to emphasize that studying the national history and statehood of Ukraine is obligatory during the armed aggression of Russia. History courses within the humanities block should offer perspectives beyond the school curriculum. They should focus on the humanistic perspective of historical development. For example, university history courses can study topics such as the evolution of democracies, movements for fundamental rights, cultural interactions, modern national history, etc. (*Minosian & Varypaev, 2023a, pp. 40-42*).

Our proposed humanities matrix emphasizes core courses, including philosophy, foreign languages, Western and Ukrainian history, and political science focusing on human rights and freedoms. In addition to the content of humanities education, the methodology of teaching these disciplines is equally significant. It is significant to recognize that there is no one "right" approach to teaching the humanities and that absolute truth is difficult to achieve. Instead, teachers should strive to teach students the diversity and richness of humanitarian concepts, fostering awareness of human cultural diversity and nuanced perspectives in humanitarian discourse.

Discussion

The principles of forming a new paradigm of humanities education based on the three basic principles of pluralism, representativeness, and distance are discussed in the contemporary research space of humanization and humanization of education (*Dunn, 2023*). The researchers pay attention to identifying and analyzing these principles, which will have broad prospects for further research.

Pluralism recognizes the diversity and complexity of global humanitarian and sociopolitical thought. It embraces a variety of viewpoints without dogmatism or claims to absolute truth.

Representativeness means including in the educational process those foundational works and ideas that have been widely recognized and have achieved classic status in the relevant humanities. This principle emphasizes the importance of respectful communication with classical authors and primary sources and refrains from imposing the teacher's personal concepts. Instead, it encourages the study of concepts established in the global discourse. Effective communication of these concepts requires skilled interpretive skills to guide students through the confusing territory of humanitarian culture.

The principle of detachment emphasizes the importance of the teacher's presentation of the concepts being studied in an objective, impartial manner and without political, national, or class bias.

These principles and their recognition are significant in building a holistic and harmonious educational system. From the authors' viewpoint, teachers should be mediators between world public opinion and the younger generation, in recognition of their significant cultural and educational role and their moral responsibility.

Conclusion

Fundamental reforms of the education system, including higher education, are required by the ongoing transformation processes in Ukraine. Ukraine's integration into the European

educational environment leads to organizational and managerial changes in higher education. However, this alone cannot satisfy the need for an educational environment conducive to forming well-rounded individuals, not just specialists in the economic mechanism. Faced with global challenges, new social stratifications, and economic mechanisms, the main strategy should be to promote a humanistic approach among all professionals. This worldview produces a system of universal values and develops a vision of global prospects meeting the requirements of modern higher education. The historical context of the humanization concept and education humanization affirms the significance of a human-centered system of values aimed at achieving the well-being, happiness, justice, and empowerment of the individual. This idea reflects the need to support institutions and activities aimed at achieving these goals, like a belief in the potential and significance of human beings.

The authors emphasize that the main task of humanization and humanization of education is to immerse people in the richness of humanitarian culture through curricula and various forms of student engagement. In this way, a more holistic development of the individual is promoted, counteracting the one-dimensionality of the personality imposed by professional and technical specialization.

Thus, humanism is a dynamic worldview that is constantly evolving and interpreted in different social and cultural contexts. Ukraine should support and develop the traditions of humanism in education based on Western values in forming identity and uniqueness of personal development, following the pan-European path of democratization of education.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References:

Ball, G. (2003) *Suchasnyi humanizm i osvita: Sotsialno-filosofski ta psykholoho-pedahohichni aspekty* [Modern Humanism and Education: Social, Philosophical, Psychological and Pedagogical Aspects]. Rivne: Lysta. (In Ukrainian)

Borinshteyn, Y. (2014) The foundation of humanization and humanitarization of higher education in Ukraine: Socio-philosophical aspect. *Scientific Cognition: Methodology and Technology*, 2.

Dunne, G. (2023) Epistemic injustice in education. *Educational Philosophy and Theory*, *55*(3), 285-289.

Jurchenko, L. et al. (2020) Nauka epokhy postmodernu yak chynnyk suchasnoi osvity [Postmodern Science as a Factor in Modern Education]. *Conference Proceedings of the International Scientific Online Conference Topical Issues of Society Development in the Turbulence Conditions* (May 30, 2020), 130-137. Bratislava: The School of Economics and Management in Public Administration in Bratislava. (In Ukrainian)

Kultaieva, M. (2018). A provocative philosophy of education: The fata morgana of universalism and the temptations of singularity (K. P. Lisman, R. D. Precht, and A. Reckwitz). *Philosophy of Education*, *23*(2), 32-69. (In Ukrainian)

Kultaieva, M., & Grygorova, N. (2023) On Advantage or Disadvantage of Academic Scholarship for Life. *Philosophy of Education*, *29*(2), 8-26.

Mardonov, R. (2021) Eastern philosophy of education and educational policy: Features and priorities. *The American Journal of Social Science and Education Innovations*, 288-294.

Minosian, A. et al. (2019) Tsinnisni oriientatsii studentstva v konteksti vykladannia istoryko kulturolohichnykh dystsyplin [Value orientations of students in the context of teaching historical and cultural disciplines]. *Modernization of Higher Education and Quality Assurance of Educational Activities: Abstracts of the First International Scientific and Methodological Conference* (May 31. 2019), 335-336. Kharkiv: Kharkiv: Kharkiv State University of Food Technology and Trade. (In Ukrainian)

Minosian, A. et al. (2020) Informatsiine suprovodzhennia navchalnoho protsesu v suchasnykh umovakh [Information support of the educational process in modern conditions]. *Synergistic Concept of Development of Student-Centered Learning-Quality Assurance of Higher Education: Abstracts of the 2nd International Scientific and Methodological Conference* (September 25, 2020), 272-273. Kharkiv: Kharkiv State University of Food Technology and Trade. (In Ukrainian)

Minosian, A., & Yegorov, D. (2016) Sotsialni merezhi ta yikh vplyv na suchasnu molodizhnu audytoriiu [Social networks and their impact on the modern youth audience]. *Modernization of Higher Education and Problems of Managing the Quality of Training. The Modern Paradigm of Higher Education: Abstracts of the 8th All-Ukrainian Scientific and Methodological Conference* (September 30, 2016), 233-234. Kharkiv: Kharkiv State University of Food Technology and Trade. (In Ukrainian)

Minosian, A., & Varypaev, O. (2022) Istoryko-kulturna komponenta u navchalno-vykhovnomu protsesi [Historical and Cultural Component in the Educational Process]. *Teaching Humanities and Ukrainian Studies by Means of Distance Learning: Theory and Practice of Higher Education Institutions: Materials of the Scientific Internet-Conference on Higher Education and Science* (November 24, 2022). Kharkiv: KhNAHU. (In Ukrainian)

Minosian, A., & Varypaev, O. (2023a) Formuvannia politychnoi kultury studentstva v konteksti reorhanizatsii osvitnoho protsesu [Formation of the political culture of students in the context of reorganization of the educational process]. *Actual Problems of Teaching Educational Components of the Social and Humanitarian Direction in Higher Education. Collection of materials of the 1st International Scientific and Practical Conference* (June 15-16, 2023), 40-45. Kherson: Kherson State Maritime Academy. (In Ukrainian)

Minosian, A., & Varypaev, O. (2023b) Ukrainska identychnist: realii na tli viiny [Ukrainian identity: realities against the backdrop of war]. *Psychology in the Face of the Russian-Ukrainian War: Collection of Abstracts of the Ukrainian-Polish Scientific Conference* (May 19-20, 2023), 67-68. Lviv. (In Ukrainian)

Varypaev, O. et al. (2021) Metodolohiia zastosuvannia kontseptsii emotsiinoho intelektu v humanitarnykh dystsyplinakh [Methodology of applying the concept of emotional intelligence in the humanities]. *Modernization of Higher Education and Problems of Managing the Quality of Specialist Training: Abstracts of the 3rd International Scientific and Methodological Conference* (May 27, 2021), 29-30. Kharkiv: Kharkiv State University of Food Technology and Trade. (In Ukrainian)

DOI 10.47451/inn2024-05-01

Oleksandr G. Linyuchev[5], *Dmytro Yu. Ushchapovskyi*[6], *Olga V. Linyucheva*[7], *Andriy S. Zabaluyev*[8]

The effect of corrosion treatment on the electrochemical activity of Ni-based electrode materials [4]

Abstract: Recently, in a fairly significant amount of work, attention has been paid to the study of catalytic properties and synthesis of chalcogenide materials, in particular, sulfides of metals of the iron group. Nickel sulfides of the NiS and Ni_3S_2 types are of particular interest. These materials have a fairly high electrical conductivity comparable to the conductivity of pure nickel, like high catalytic activity in the process of electroreduction of oxygen. The purpose of this work is to study the effect of segregation of sulfuric acid in the form of sulfides and adsorbed sulfur during corrosion treatment on the electrochemical properties of galvanic nickel deposits. Based on the results of cyclic vol-amperometry, it is shown that an increase in the duration of the corrosion treatment of bright sulfur-containing nickel deposits in acetic acid, accompanied by an increase in the surface sulfur content, leads to an increase in the current densities of the cyclic volt-ampere curves. The increase in the current densities of the cyclic volt-ampere curves obtained on sulfur-free nickel deposits is facilitated by an increase in the duration of exposure in a saturated solution of sodium sulfide. Thus, regardless of the type of treatment, the segregation of nickel sulfides or adsorbed sulfur leads to an increase in the electrochemical activity of nickel-based electrodes.

Keywords: electrode material, oxygen electroreduction catalyst, nickel electrode, nickel sulfides.

Вплив корозійної обробки на електрохімічну активність електродних матеріалів на основі Ni

Анотація: Останнім часом у досить значному обсязі робіт приділено увагу вивченню каталітичних властивостей та синтезу халькогенідних матеріалів, зокрема, сульфідів металів групи заліза. Особливий інтерес становлять сульфіди нікелю типу NiS та Ni_3S_2. Дані матеріали мають досить високу електричну провідність порівнянну з провідністю чистого нікелю, а також високу каталітичну активність щодо процесу електровідновлення кисню. Метою даної роботи є вивчення впливу сегрегації сульфуру у вигляді сульфідів та адсорбованої сірки при корозійній обробці на електрохімічні властивості гальванічних нікелевих осадів. На основі результатів циклічної воль-амперометрії показано, що збільшення тривалості корозійної обробки блискучих сульфоровмісних нікелевих осадів в оцтовій кислоті, що супроводжується збільшенням поверхневого вмісту сульфуру, призводить до зростання густин струму циклічних вольт-амперних кривих. Зростанню густин струму циклічних воль-амперних кривих отриманих на безсульфурних нікелевих осадах сприяє збільшення тривалості експонування в насиченому розчині сульфіду натрію. Таким чином, незалежно від виду обробки, сегрегація сульфідів нікелю або адсорбованого сульфуру призводить до підвищення електрохімічної активності відповідного електродного матеріалу.

Ключові слова: електродний матеріал, каталізатор електровідновлення кисню, нікелевий електрод, сульфіди нікелю.

Вступ

Найбільш широкого застосування, у якості катодних матеріалів процесу електровідновлення кисню (ЕК) у паливних елементах, набули матеріали на основі платини (*Huang et al., 2021*). З метою підвищення електрохімічної активності та отримання високорозвиненої поверхні використовують, зокрема, дисперсний графіт, а також вуглецеві наноструктуровані матеріали активовані платиною (*Huang et al., 2017*; *Li et al., 2019*). Використання металів платинової групи як електродних матеріалів обумовлено їх високою каталітичною активністю, а також найменшим перенапругою електродних процесів. Однак метали платинової групи є досить високовартісною сировиною, тому актуальною є їхня заміна на більш дешеві, але не менш ефективні матеріали.

Останнім часом у досить значному обсязі робіт автори приділяють увагу вивченню каталітичних властивостей та синтезу халькогенідних матеріалів, зокрема сульфідів металів групи заліза (*Buchmaier et al., 2017*; *Yao et al., 2020*; *Fang et al., 2018*). Показано використання даних матеріалів як каталізаторів електровідновлення кисню та водню, анодного виділення кисню та їх застосування для електродних матеріалів первинних джерел струму та паливних елементів (*Wang et al., 2018*; *Yan et al., 2017a*). Особливий інтерес становлять сульфіди нікелю типу NiS та Ni_3S_2. Дані матеріали мають досить високу електричну провідність порівнянну з провідністю чистого нікелю (*Gahtar et al., 2020*; *Gibbs et al., 2005*). Причиною високої каталітичної активності даних сполук особливо стосовно ЕК, згідно з (*Yan, 2017b*), пояснюються впливом сірки на десорбцію продукту процесу електровідновлення кисню – ОН-іонів. Енергія зв'язку між нікелем і сіркою є більшою, ніж у нікелю з киснем, тому процес десорбції гідроксильних іонів полегшується, що і призводить до прискорення ЕК в нейтральному і лужному середовищі. Висока електрична провідність, а також можливість перебігу швидких окисно-відновних процесів на поверхні сульфідів нікелю, за умови високої питомої площі поверхні, визначають високі значення псевдоємності та застосування даних сполук у якості електродних матеріалів суперконденсаторів (*Xia et al., 2023*; *Gaikar et al., 2016*).

З метою отримання електродних матеріалів на основі сульфідів нікелю часто застосовується хімічний синтез (*Buchmaier et al., 2017*; *Xia et al., 2023*; *Gaikar et al., 2016*). Однак, цікавим є той факт, що у роботах присвячених вивченню корозійної поведінки нікелю допованого сіркою, вказується про формування на поверхні шару з Ni_3S_2 при анодній обробці в розведеній сірчаній кислоті (*Marcus, 2012*). У ході раніше проведених досліджень авторами даної роботи була показана можливість формування шару з Ni_3S_2 та сульфідів із більшим вмістом сірки при експонуванні гальванічних нікелевих осадів з підвищеним вмістом сірки в парах оцтової кислоти (*Ushchapovskiy et al., 2020*; *Ushchapovskiy et al., 2023*).

Метою даної роботи є вивчення впливу сегрегації сульфуру у вигляді сульфідів та адсорбованої сірки при корозійній обробці на електрохімічні властивості гальванічних нікелевих осадів.

Виклад основного матеріалу

Методика експериментальних досліджень

Дослідження електрохімічних властивостей проводилось на електродах з електроосадженої нікелевої фольги та титанової фольги вкритих нікелем.

При створенні електродів на титановій основі можна виділити три основні етапи:

1 – підготовка поверхні електрода;

2 – електроосадження гальванічних нікелевих покриттів;

3 – корозійна обробка.

Склад електроліту нікелювання, умови електроосадження, а також особливості корозійної обробки електродів з блискучими нікелевими осадами детально описані у (*Ushchapovskiy et al., 2020*; *Ushchapovskiy et al., 2023*). Тривалість корозійної обробки в концентрованій оцтовій кислоті варіювалась в межах 2…240 год. Після корозійних випробувань розчинні продукти корозії змивали дистильованою водою, а отримані електроди обережно просушували теплим повітрям.

Також у роботі досліджували електрохімічні властивості електродів отримуваних із електрохімічно сформованої нікелевої фольги товщиною 50 мкм, з електроліту нікелювання без додавання блискоутворюючої добавки сахарину. Температура і густина струму були такими ж, як і для електроосадження блискучих нікелевих покриттів. Відповідну нікелеву фольгу піддавали обробці в насиченому розчині сульфіду натрію протягом 2…72 год. Після обробки зразки ретельно промивали.

За результатами EDX-аналізу (*Ushchapovskiy et al., 2020*; *Ushchapovskiy et al., 2023*), проведеного за допомогою РЭМ-106И, із системою енергодисперсійного мікроаналізу Oxford INCA Energy 350, вміст сульфуру в гальванічних нікелевих осадах отриманих в електроліті нікелювання без сахарину становим порядку 10^{-2} мас.%, що є сумірним з величиною похибки визначення. У подальшому в тексті такі нікелеві покриття і фольгу будуть позначені як «матові». Введення в електроліт нікелювання сахарину призводить до включення в структуру осаду сульфуру на рівні 0,2…0,3 мас.% та осадженню «блискучих» покриттів та фольги. При частковому та повному розчиненні блискучого нікелевого покриття в оцтовій кислоті (*Рисунок 2а,б*) формується малорозчинних шар продуктів корозії, до складу яких можуть входити сульфіди різного стехіометричного складу (*Ushchapovskiy et al., 2023*) , зокрема, Ni_3S_2.

Дослідження електрохімічних властивостей отриманих електродних матеріалів проводили на основі поляризаційних вимірювань, що проводили у 0,1 М розчині КОН, потенціодинамічні катодні криві знімали зі швидкістю розгортки потенціалу 1мВ/с. При отриманні циклічних вольт-амперних (ЦВА) кривих швидкість сканування потенціалу складала 10 мВ/с. Вольт-амперні криві на досліджуваних електродних матеріалах отримували у триелектродній комірці з використанням цифрового потенціостата VersaStat 2000. Температура досліджень становила 18°С. Електродом порівняння слугував насичений хлор-срібний електрод, а допоміжним – платиновий електрод. Значення потенціалів приведені у шкалі насиченого хлор-срібного електрода порівняння.

Результати та їх обговорення

Поляризаційні вимірювання проводили у лужному середовищі для 0,1М КОН відповідно pH 11. Відповідний розчин було вибрано з метою зсуву потенціалу виділення водню в бік більш негативних значень, відповідно за стандартних умов потенціал

водневого електрода в такому розчині становитиме близько -0,65 В або близько -0,85 В у шкалі насиченого хлор-срібного електрода порівняння. Згідно даних (*Qiao et al., 2013*) розчинність кисню в такому електроліті є досить високою і становить $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ моль·см$^{-3}$, коефіцієнт дифузії $1{,}9 \cdot 10^{-5}$ см^2·с$^{-1}$. При товщині дифузійного шару порядку 10^{-3} см величина граничного дифузійного струму електровідновлення кисню може становити порядку 0,1 мА· см $^{-2}$.

Як видно з отриманих потенціодинамічних кривих (*Рисунок 1, крива 2*), введення в структуру нікелевого осаду сірки сприяє деякому зменшенню перенапруги виділення водню. На допованому сіркою нікелі в інтервалі потенціалів -0,7…-0,85 В спостерігається хвиля, початок якої згідно з діаграмою Пурбе для системи Ni-S (*Marcus, 2012*) може відповідати процесу електровідновленням пасивного шару на нікелі, порушеному включеннями сульфуру у вигляді сульфіду. Також при цьому може відбуватись електровідновлення кисню. На електроді зі сформованим, при корозійній обробці в оцтовій кислоті, сульфідним шаром (*Рисунок 1, крива 3*) спостерігається дві хвилі. Перша хвиля спостерігається в інтервалі потенціалів -0,1...-0,8 В з граничним струмом близько 0,06 мА·см$^{-2}$, який відповідає процесу електровідновлення кисню. В інтервалі потенціалів -0,8...-0,95 В, який відповідає другій хвилі, згідно діаграми Пурбе, може перебігати процес відновлення сульфідних сполук паралельно з електровідновленням кисню та водню.

Циклічні вольт-амперні криві знімали в інтервалі потенціалів -0,74…-0,1 В. Максимальне значення досліджуваного інтервалу відповідало рівноважному потенціалу нікелевого електрода в досліджуваному розчині. Мінімальне значення відповідало межі стабільності сульфідних шарів встановленій на основі даних рис.1, що також узгоджується з (*Marcus, 2012*). У досліджуваному інтервалів потенціалів на нікелевому катоді може відбуватись реакція електровідновлення кисню. З результатів ЦВА вимірювань приведених на рисунку (*Рисунок 2*) можна зробити висновок про наступне. Збільшення тривалості експонування блискучих нікелевих осадів у оцтовій кислоті призводить зростання значень прямого та зворотного ходу ЦВА кривої. Така видозміна ходу ЦВА кривої узгоджується із даними (*Ushchapovskiy et al., 2020*) де показано зміну та збільшення питомої площі поверхні блискучих нікелевих осадів у наслідок збільшення тривалості експонування останніх в парах концентрованої оцтової кислоти. Крім цього у (*Ushchapovskiy et al., 2020*; *Ushchapovskiy et al., 2023*) показана сегрегація та зростання вмісту на поверхні нікелевих осадів сірки, що відображає формування сульфідного шару. Слід також відзначити, що при збільшенні тривалості експонування блискучого нікелю в оцтовій кислоті зростає гістерезис ЦВА кривої. ЦВА криві, отримані при формуванні сульфідного шару з блискучої нікелевої фольги протягом 240 год наведені на рисунку (*Рисунок 3*). З відповідного рисунку видно ще більше зростання гістерезису кривої, що може вказувати на збільшення ємнісної складової струму, внаслідок зростання питомої площі поверхні. При шестиразовому циклуванні ЦВА крива у незначній мірі видозмінюється через зміну стехіометричного складу в наслідок перебігу швидких окисно-відновних реакцій та оборотної заміни адсорбованої сірки на адсорбований кисень (*Marcus, 2012*).

Таким чином, на зміну електрохімічних властивостей нікелевих покриттів може впливати не тільки збільшення питомої площі поверхні внаслідок корозійних руйнувань,

а і наявність адсорбованої сірки. Для цього зразки матової нікелевої фольги, отримані в електроліті без сахарину, експонували в насиченому розчині Na_2S протягом 2…72 год, після чого промивали і знімали на них ЦВА криві, які приведені на рисунку (*Рисунок 4*). В ході експонування зразків із матової нікелевої фольги в насиченому розчині Na_2S було виявлено, що їх колір змінюється від з сріблястого на золотавий і темно коричневий при збільшенні тривалості експонування. При цьому видозміна структури поверхні покриття не відбувається. Оскільки в лужному середовищі нікель загалом є пасивним, а утворення забарвленої плівки вказує на те, що її товщина становить порядку $n*10^{-1}$ мкм.

Як видно з рисунку (*Рисунок 4*) збільшення тривалості експонування фольги в розчині Na_2S так само призводить до зростання струму на ЦВА кривих, однак при цьому значення струмів є дещо меншими ніж для блискучого нікелю при обробці в оцтовій кислоті (*Рисунок 2*). Крім цього, менш вираженим є гістерезис ЦВА кривої. Фактично, в даному випадку у насиченому розчині Na_2S відбувається заміщення кисню у пасивній плівці на сульфур. Чим більшим є час експонування нікелю в розчині сульфіду, тим темнішим є колір плівки, очевидно, більша поверхнева концентрація сірки. Фактично як у блискучого нікелю, так і у матового нікелю в досліджуваному інтервалі потенціалів -0,74…-0,1 В у 0,1 М розчині КОН поверхня є пасивною.

Таким чином, досліджувані види обробки гальванічних нікелевих осадів сприяють зростанню поверхневої концентрації сульфуру. Сульфур заміщуючи кисень на поверхні нікелю в пасивній плівці (*Yao et al., 2020*; *Marcus, 2012*) полегшує десорбцію гідроксил іонів і каталізує процес електровідновлення кисню в цілому. Таким чином зі збільшенням кількості сірки на поверхні нікелю зростає кількість каталітично активних центрів. Відповідно при цьому може зростати його електрохімічна активність щодо процесу електровідновлення кисню, що відображається у збільшенні струму на ЦВА кривих (*Рисунок 2*; *Рисунок 4*). Однак, слід відзначити, що максимальна швидкість процесу електровідновлення кисню визначається його розчинністю у воді (електроліті) за даних умов. Для ілюстрації відповідного явища були побудовані залежності середнього значення густини струму (між значеннями густин струму прямого та зворотного ходу ЦВА кривої при потенціалі -0,4 В) від тривалості обробки нікелевої фольги, які приведені на рисунку (*Рисунок 5*).

Як видно з рисунку (*Рисунок 5*), основне зростання густини струму відбувається за перші 24 год обробки. Дещо вищі значення струмів для блискучої нікелевої фольги також можна пояснити збільшення дійсної площі поверхні внаслідок корозійних руйнув $мА \cdot см^{-2}$, а на блискучій нікелевій фользі зі сформованими продуктами корозії 0,065 $мА \cdot см^{-2}$. Відповідні значення густин струму відповідають порядку значення граничного дифузійного струму електровідновлення кисню в мало перемішуваному лужному середовищі (*Qiao et al., 2013*; *Vukmirovic et al., 2003*). Для порівняння на рисунку (*Рисунок 6*) приведені ЦВА криві та середні значення густини струму ЦВА кривої при потенціалі -0,4 В, отримані на платиновому та електродах із різними способами обробки. З рисунку «б» (*Рисунок 6б*) видно, що на матовій нікелевій фользі обробленій у розчині Na_2S середні значення густини струму є майже такими, як і на платиновому електроді, при цьому поверхня обох матеріалів є близькою за мікрорельєфом та шорсткістю. Очікувано є дещо вищими значення катодних струмів на електродах зі сформованим, у наслідок корозійної

обробки, сульфідним шаром. Це є одночасним наслідком зростання електрохімічної активності та питомої площі поверхні при корозійній обробці.

Висновки

Встановлено, що досліджувані види корозійної обробки гальванічних нікелевих осадів, які сприяють збагаченню їх поверхні сульфуром, у вигляді адсорбованого сульфуру або утворення сульфідного шару, також спричиняють зростання їх електрохімічної активності, яка проявляється у збільшенні значень катодних струмі на циклічних вольт-амперних кривих. За умови формування суцільного сульфідного шару, а також при адсорбційній обробці нікелевого електрода в насиченому розчині сульфіду натрію, катодні густини струми на кривих є сумірними із величинами катодних струмів на платині. Таким чином, досліджувані види обробки дають змогу отримувати нові електродні матеріали на основі нікелю, зокрема, для процесу електровідновлення кисню в паливних елементах та інших відновлювальних джерелах електроенергії.

Конфлікти інтересів

Автори заявили, що конфлікту інтересів немає.

Список джерел інформації:

Buchmaier, C. et al. (2017). Nickel sulfide thin films and nanocrystals synthesized from nickel xanthate precursors. *Journal of Materials Science*, *52*, 10898-10914. https://doi.org/10.1007/s10853-017-1265-5

Fang, H. et al. (2018). Investigation on the Catalytic Performance of Reduced-Graphene-Oxide-Interpolated FeS2 and FeS for Oxygen Reduction Reaction. *Chemistry Select*, *3*, 10418-10427. https://doi.org/10.1002/slct.201800835

Gahtar, A. et al. (2020). Effect of temperature on the properties of nickel sulfide films performed by spray pyrolysis technique. *Advances in Materials Science*, *20*(3), 36-51 https://doi.org/10.2478/adms-2020-0015

Gaikar, P. et al. (2016). Synthesis of nickel sulfide as a promising electrode material for pseudocapacitor application. *RSC Advances*, 6, 112589–112593. https://doi.org/10.1039/C6RA22606J

Gibbs, G. V. et al. (2005). Electron density distributions calculated for the nickel sulfides millerite, vaesite, and heazlewoodite and nickel metal: a case for the importance of ni ni bond paths for electron transport. *Journal of Physical Chemistry B*, *109*, 21788-21795 https://doi.org/10.1021/jp054109a

Huang, K. et al. (2017). Enhancing Pt/C Catalysts for the Oxygen Reduction Reaction with Protic Ionic Liquids: The Effect of Anion Structure. *Journal of The Electrochemical Society, 164*(13), F1448-F1459. https://doi.org/10.1149/2.1071713jes

Huang, L. et al. (2021). Advanced Platinum-Based Oxygen Reduction Electrocatalysts for Fuel Cells. *Accounts of Chemical Research*, *54(2)*, 311-322 https://doi.org/10.1021/acs.accounts.0c00488

Li, O.L. et al. (2019). Enhanced Electrocatalytic Stability of Platinum Nanoparticles Supported on Sulfur-Doped Carbon using in-situ Solution Plasma. *Scientific Reports, 9*, 12704. https://doi.org/10.1038/s41598-019-49194-x

Marcus, Ph. (2012). Corrosion Mechanisms in Theory and Practice, Third Edition. *CRC Press, Taylor & Francis Group*, 395-416. https://doi.org/10.1201/b11020

Qiao, J. et al. (2013). Effect of KOH Concentration on the Oxygen Reduction Kinetics Catalyzed by Heat-Treated Co-Pyridine/C Electrocatalysts. *International Journal of Electrochemical Science*, *8*, 1189-1208 http://www.electrochemsci.org/papers/vol8/80101189.pdf

Ushchapovskiy, D. Y. et al. (2020). Corrosion resistance of bright nickel coatings in the vapor of acetic acid. *Materials Science*, *55*(5), 656-663. https://doi.org/10.1007/s11003-020-00356-7

Ushchapovskiy, D. Y. et al. (2023). Comparative Study of Corrosion Activity of Bright and Matte Nickel Coatings in Solutions and Vapor of Acetic Acid. *Materials Science*, *58*(4), 540-547 https://doi.org/10.1007/s11003-023-00696-0

Vukmirovic, M. B. et al. (2003). Diffusion-Limited Current Density of Oxygen Reduction on Copper. *Journal of the Electrochemical Society*, *150*(1), B10-B15. https://doi.org/10.1149/1.1526554

Wang, H.-F. et al. (2018). A Review of Precious-Metal-Free Bifunctional Oxygen Electrocatalysts: Rational Design and Applications in Zn−Air Batteries. *Advanced Functional Materials*, 1803329-1803329. https://doi.org/10.1002/adfm.201803329

Xia, Q. et al. (2023). In Situ Preparation of Three-Dimensional Porous Nickel Sulfide as a Battery-Type Supercapacitor. *Molecules*, *28*, 4307. https://doi.org/10.3390/molecules28114307

Yan, B. et al. (2017a) A Membrane-Free Neutral pH Formate Fuel Cell Enabled by a SelectiveNickel Sulfide Oxygen Reduction Catalyst. Angew. *Angewandte Chemie International Edition*, *56*, 7496. https://doi.org/10.1002/anie.201702578

Yan, B. et al. (2017b). Surface Restructuring of Nickel Sulfide Generates Optimally Coordinated Active Sites for Oxygen Reduction Catalysis. *Joule 1*, *3*, 600-612. https://doi.org/10.1016/j.joule.2017.08.020

Yao, S. et al. (2020). Cobalt sulfides as efficient catalyst towards oxygen reduction reactions. *Chinese Chemical Letters*, *31*(2), 530-534. https://doi.org/10.1016/j.cclet.2019.04.069

Додаток

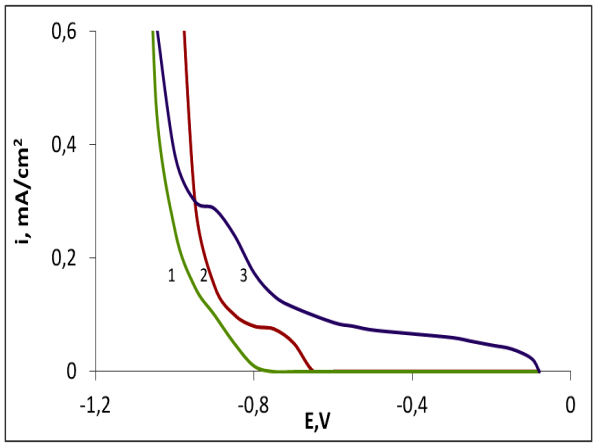


Рисунок 1. Катодні потенціодинамічні поляризаційні криві у 0,1 М КОН: 1 – матовий нікель; 2 – блискуча нікелева фольга; 3 – блискуча нікелева фольга зі сформованим шаром із сульфідних продуктів корозії за 24 год експонування в оцтовій кислоті

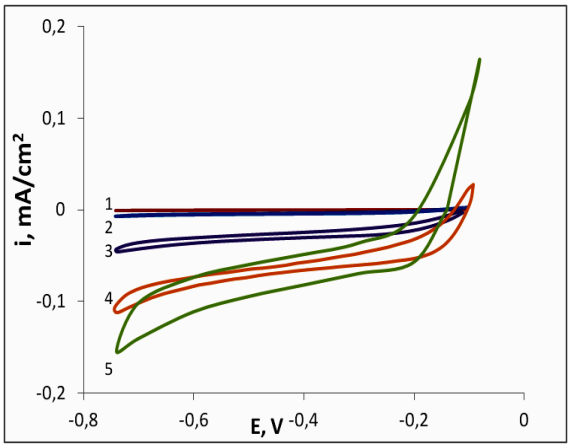


Рисунок 2. Катодні ЦВА криві в 0,1 М КОН на електродах з блискучими гальванічними нікелевими осадами зі сформованим шаром із сульфідних продуктів корозії, при різній тривалості експонуванні в оцтовій кислоті протягом, год: 1 – 0; 2 – 2; 3 – 4; 4 – 24; 5 – 72

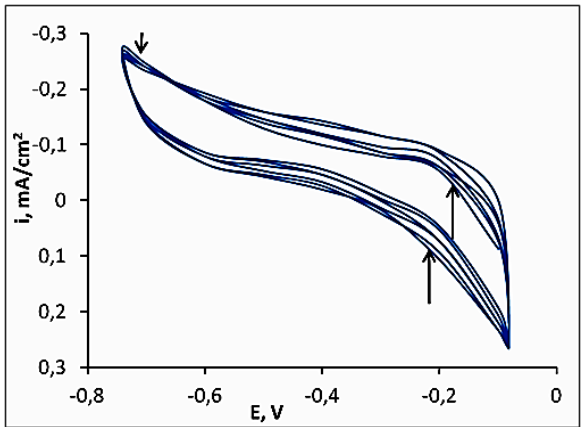


Рисунок 3. Катодні ЦВА криві в 0,1 М КОН на електроді з блискучого гальванічного нікелевого осаду, сформованого протягом 240 год експонування в оцтовій кислоті шаром із сульфідних продуктів корозії

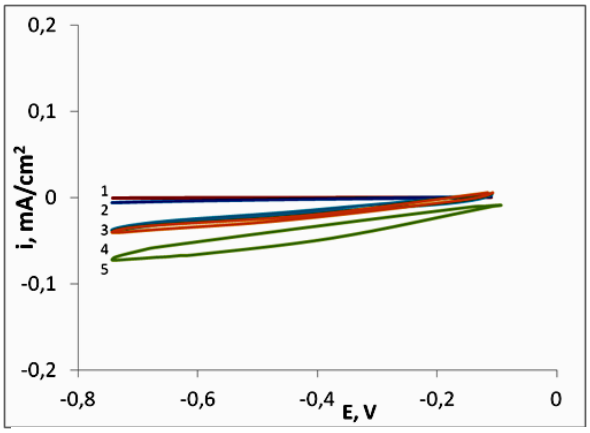


Рисунок 4. Катодні ЦВА криві в 0,1 М КОН на електродах з матовими гальванічними нікелевими осадами після експонування в насиченому розчині Na2S протягом, год: 1 – 0; 2 – 2; 4 – 24; 5 – 72

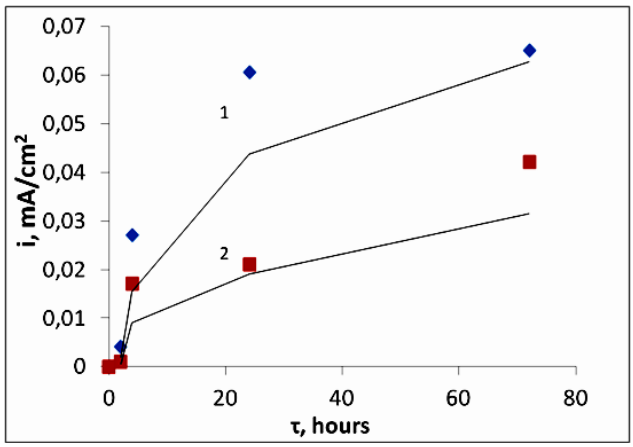
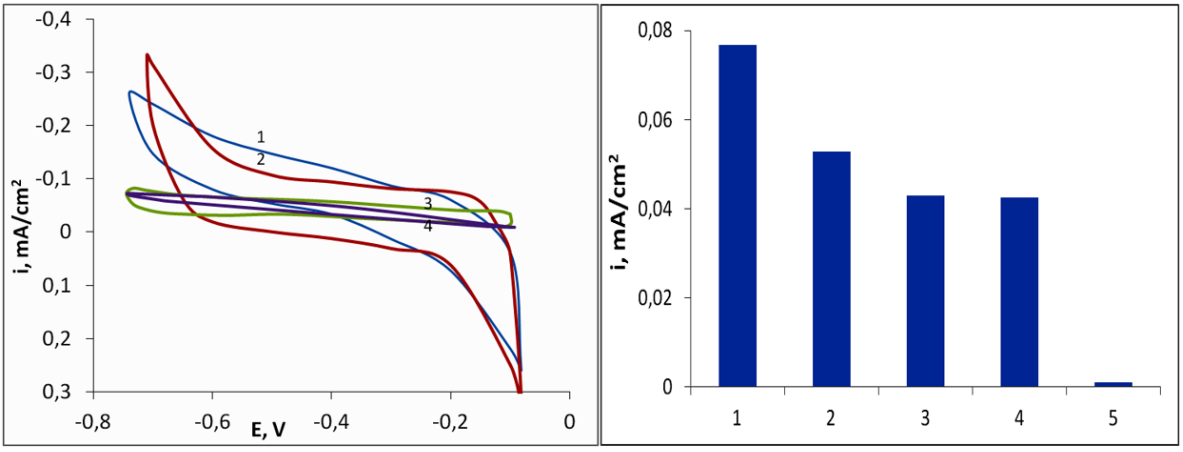


Рисунок 5. Залежність середнього значення катодного струму при потенціалі -0,4 В у 0,1 М КОН від тривалості попередньої обробки нікелевої фольги (год): 1 – блискучої нікелевої фольги в концентрованій оцтовій кислоті; 2 – матової нікелевої фольги в насиченому розчині Na2S



а б

Рисунок 6. Катодні ЦВА криві (а) та середні значення катодного струму при потенціалі -0,4 В відповідних кривих (б) у 0,1 М КОН на: 1 – блискучій нікелевій фользі із сформованими протягом 240 год в концентрованій оцтовій кислоті сульфідними продуктами корозії; 2 – на титановому електроді із сформованими продуктами корозії внаслідок повного розчинення електроосадженого блискучого нікелевого покриття протягом 72 год; 3 – на платиновому електроді; 4 – на електроді з матової нікелевої фольги витриманої протягом 72 год в насиченому розчині Na2S; 5 – необроблена нікелева фольга

DOI 10.47451/inn2024-05-02

Anton S. Shantyr[2]

Identification of sources of uncertainty in the evaluation of software systems quality [5]

Abstract: Today, software systems play a pivotal role in various aspects of life, with increasing complexity and diversity. However, along with this comes a growing number of challenges related to the quality and reliability of these systems. The need for assessing the quality of software products requires adherence to high accuracy and reliability through various methodological approaches. One of the main problems in this context is the insufficient substantiation of theoretical and methodological approaches in determining sources of uncertainty. This problem requires a comprehensive approach and systematization to address the tasks of evaluating the quality of modern software systems considering uncertainty. Significant contributions to the theoretical and practical aspects of development regarding the generalization and systematization of sources of uncertainty in the development and operation of modern software systems have been made by scholars such as C. Areces, R. Fervari, A. Saravia, F. Velázquez-Quesada, M. Bougeret, A. Pessoa, M. Poss, N. Boukhelifa, C. Johnson, K. Potter, L. Clarté, B. Loureiro, F. Krzakala, L. Zdeborova, D. Tsapetis, M. Shields, D. Giovanis, A. Olivier, et al. The study object is methodological approaches to determining sources of uncertainty. The study's purpose is to generalize the systematization of sources of uncertainty in the development and operation of modern software systems. To achieve the purpose, the following tasks are set and solved in the article: on a comprehensive level, the main sources of uncertainty in software systems are analyzed, such as changes in requirements, design flaws, unforeseen operating conditions, and other factors; a comprehensive model for optimizing the problem of formalizing uncertainty in software requirements is developed based on the application of machine learning methods and data analysis. In the process of this comprehensive research, methods of analysis, synthesis, generalization, and comparison are used. The author concludes that as a result of using methods' combination in the proposed development, it provides a more efficient and objective approach to managing the uncertainty of software requirements, compared to some existing approaches. This allows you to increase the reliability, quality, and efficiency of the developed software product.

Keywords: software system quality, mathematical framework, uncertainty optimization, formalization of sources of uncertainty, identification of sources of uncertainty, critical sources of uncertainty.

УДК 004.422.4:005.3:004.4

Визначення джерел невизначеності при оцінці якості програмних систем

Анотація: Нині програмні системи відіграють ключову роль у багатьох аспектах життя, зростає їхня складність та різноманітність. Однак, разом із цим збільшується і число викликів, пов'язаних з якістю та надійністю цих систем. Необхідність в оцінці якості програмних продуктів вимагає дотримання високої точності та достовірності за допомогою різноманітних методологічних підходів. Однією з основних проблем у цьому контексті є недостатня обґрунтованість теоретико-методичних підходів у визначенні джерел невизначеності. Ця проблема потребує комплексного підходу та систематизації для вирішення завдань оцінки якості сучасних програмних систем з урахуванням невизначеності. Суттєвий внесок у розробку теоретичних й практичних аспектів, щодо узагальнення систематизації джерел невизначеності при розробці та експлуатації сучасних програмних систем внесли такі вчені, як: C. Areces, R. Fervari, A. Saravia, F. Velázquez-Quesada, M. Bougeret, A. Pessoa, M. Poss, N. Boukhelifa, C. Johnson, K. Potter, L. Clarté, B. Loureiro, F. Krzakala,

L. Zdeborova, D. Tsapetis, M. Shields, D. Giovanis, A. Olivier et al. Об'єктом дослідження є методологічні підходи до визначення джерел невизначеності. Метою цієї статті є узагальнення систематизації джерел невизначеності при розробці та експлуатації сучасних програмних систем. Для реалізації мети в статті поставлені і вирішені такі завдання: На комплексному рівні проаналізовано основні джерела невизначеності в програмних системах, такі, як зміни у вимогах, недоліки в проектуванні, непередбачувані умови експлуатації та інші фактори; розроблена комплексна модель оптимізації проблеми формалізації невизначеності у вимогах до програмного забезпечення на базі застосування методів машинного навчання та аналізу даних. В процесі даного комплексного дослідження використано методи аналізу, синтезу, узагальнення, порівняння. Автор приходить до висновку що в результаті використання комбінації методів у запропонованій розробці забезпечує більш ефективний та об'єктивний підхід до управління невизначеністю вимог до програмного забезпечення, порівняно з деякими існуючими підходами. Це дозволяє підвищити надійність, якість та ефективність розроблюваного програмного продукту.

Ключові слова: якість програмних систем, математичний апарат, оптимізація невизначеності, формалізація джерел невизначеності, ідентифікація джерел невизначеності, критичні джерела невизначеності.

Вступ

В сучасному світі програмні системи стають все більш складними та різноманітними, відіграючи ключову роль у багатьох сферах нашого життя. Однак, разом із зростанням їхньої складності, з'являються нові виклики, пов'язані з їх якістю та надійністю. Зокрема враховуючи сучасні особливості та вимоги, які вказуються в різних профільних стандартах якості (ISO 9126, ISO/IEC 25010, IEEE 730 та ін.), котрі в свою чергу охоплюють різносторонні аспекти механізмів оцінюванні якості програмних систем окреме місце заслуговують питання, що пов'язані із вирішенням фундаментальних проблем в спектрі комплексного дослідження методичних підходів визначення джерел невизначеності. Дана тенденція пов'язана із тим, що в сучасних стандартах із регулювання питань, щодо оцінки якості програмних систем вимагається дотримання високої точності та достовірності. Об'єктом дослідження є методологічні підходи до визначення джерел невизначеності. Метою цієї статті є узагальнення систематизації джерел невизначеності при розробці та експлуатації сучасних програмних систем. Для реалізації мети в статті поставлені і вирішені такі завдання:

- на комплексному рівні проаналізовано основні джерела невизначеності в програмних системах, такі, як зміни у вимогах, недоліки в проектуванні, непередбачувані умови експлуатації та інші фактори;
- розроблена комплексна модель оптимізації проблеми формалізації невизначеності у вимогах до програмного забезпечення на базі застосування методів машинного навчання та аналізу даних.

В процесі даного комплексного дослідження використано методи аналізу, синтезу, узагальнення, порівняння.

Опрацьовано наукові роботи C. Areces, R. Fervari, A. Saravia та F. Velázquez-Quesada (*2023*) проаналізовано логіку на основі невизначеності в процесі здійснення дій; D. Behera

(*2023*) розглянуто альтернативні методології для розв'язання задач лінійного програмування з епістемічною невизначеністю; M. Bougeret, A. Pessoa та M. Poss (*2023*) розглянуто задачі робустного планування з обмеженою невизначеністю для однієї машини; N. Boukhelifa, C. Johnson та K. Potter (*2023*) досліджено візуалізацію та прийняття рішень при проектуванні в умовах невизначеності; V. Cappelli, S. Cerreia-Vioglio, F. Maccheroni, M. Marinacci та S. Minardi (*2020*) розглянуто джерела невизначеності та особливості формування суб'єктивних цін при розробці програмних систем; L. Clarté, B. Loureiro, F. Krzakala, & L. Zdeborova, (*2023*) розглянута теоретична характеристиа невизначеності в високо-вимірній лінійній класифікації; J. Dorn, S. Apel та N. Siegmund (*Dorn et al., 2023*). розглянуто особливості управління невизначеністю у вимірах продуктивності конфігурованих програмних систем; A. Drozhkin (*2022*) проаналізовано сучасні підходи до оцінки якості програмних продуктів в умовах невизначеності; D. Tsapetis, M. Shields, D. Giovanis, A. Olivier інші (*2023*) розглянуто UQpy v4.1: бібліотеку для квантифікації невизначеності з використанням Python; X. Zhang, Z. Li та інші (*2023*) розглянуто особливості вибору інформативних даних з урахуванням невизначеності для багатомодального виявлення об'єктів; J. Zhao, Y. Wang та інші (*2023*) досліджено вплив візуалізації невизначеності на надійність моделі; M. Liao, D. Shen та P. Lv (*2023*). розглянуто єдину модель невизначеності даних та невизначеності взаємозв'язків даних; та інші.

Незважаючи на суттєві напрацювання вчених залишаються недостатньо обґрунтованими теоретико-методичні підходи визначення джерел невизначеності. Таким чином, комплексний розгляд піднятої тематичної спрямованості є необхідним в вирішенні завдань із оцінки якості сучасних програмних систем із врахуванням вирішення задач в межах тематики визначення джерел невизначеності визначення джерел невизначеності.

Результати дослідження

Математичний апарат та методологічні особливості класифікації джерел невизначеності

В оцінці якості комп'ютерних програмних систем велике значення відводиться правильному визначенню їх кількісних характеристик. Це стає ключовим етапом, як у процесі розробки, так і у підтримці та покращенні програмного забезпечення. Методи оцінювання цих характеристик відіграють важливу роль у забезпеченні якості продукту та визначенні його відповідності вимогам користувачів. Піднімаючи дану спрямованість зазначимо, що на технічно-практичному рівні – оцінка якості програмних систем є досить складним завданням, оскільки вона часто пов'язана з невизначеністю. Навіть найбільш досконалі методи тестування та аналізу не можуть повністю виключити можливість помилок чи несправностей у програмному коді. Натомість поняття невизначеності у контексті оцінки якості програмних систем охоплює різноманітні аспекти, включаючи непередбачуваність поведінки програми в різних умовах експлуатації, складність аналізу великих обсягів даних, а також неповноту специфікацій та вимог до системи.

Зважаючи на вище відмічене в межах систематизації джерела невизначеності при оцінці якості комп'ютерних програмних систем доцільно відмітити наступні факторіальні першопричині джерела:

- Неоднозначні вимоги: Часто вимоги до програмного забезпечення формулюються неоднозначно, або неповністю. Це може створювати невизначеність в тому, як оцінювати відповідність програми цим вимогам;
- Ризик змін вимог: Вимоги до програмного забезпечення можуть змінюватися протягом розробки, або після випуску продукту. Ці зміни можуть впливати на якість програми та вимагати переоцінки її характеристик;
- Неочікувані зовнішні впливи: Зовнішні фактори такі, як зміни в інфраструктурі, конкурентний тиск, або нові регуляції, можуть впливати на якість програмного забезпечення, створюючи невизначеність в оцінці його характеристик;
- Помилки в розробці та випробуванні: Недоліки у процесі розробки та випробування можуть призводити до появи помилок та невірного функціонування програмного забезпечення, що ускладнює оцінку його якості;
- Варіація у використанні: Реальне використання програмного забезпечення може відрізнятися від очікувань розробників, що призводить до невизначеності в оцінці його ефективності та якості;
- Недоліки у тестуванні: Не ідеальність тестування може призводити до пропуску деяких дефектів, або недостатнього оцінювання якості програмного забезпечення.

Відмітимо, що наведені причини можуть створювати нестабільність і невизначеність у процесі розробки, тестування та використання програмного продукту. Їх важливо враховувати при плануванні, розробці та оцінці якості програмного забезпечення для забезпечення найвищого рівня задоволення користувачів і виконання бізнес-потреб.

Зважаючи на наведені проблеми, розробники програмного забезпечення повинні удосконалювати свої підходи до управління проектами та контролю якості.

Розглядаючи підходи, які можуть допомогти зменшити невизначеність у процесі розробки та оцінки якості програмного забезпечення варто відмітити, що досить вагоме місце має відводитися чіткій постановці вимог і комунікація.

Зважаючи на це в практичній реалізації важливо встановити чіткі та однозначні вимоги до програмного продукту ще на початку проекту. Натомість у відповідності до (*Dorn et al., 2023*) комунікація між розробниками, клієнтами та іншими зацікавленими сторонами повинна бути ефективною та систематичною. Даний підхід потребує врахування гнучкості та адаптивність: зважаючи на ризик змін вимог, команди розробників повинні працювати у гнучкому середовищі, яке дозволяє швидко реагувати на зміни та адаптувати продукт під нові вимоги.

У комплексі практичної реалізації оцінювання якості програмних систем вимагає постійного формування вимог до тестування і контролю якості: Підвищення якості програмного забезпечення може бути досягнуто шляхом вдосконалення процесів тестування та контролю якості. Відмітимо, що автоматизоване тестування, використання тестових скриптів та інші методи на практиці застосовуються із цілю виявлення різноманітних помилок на ранніх етапах розробки.

Також на всіх етапах розробки програмного забезпечення вагоме місце має відводитися стратегії управління ризиками: Це включає ідентифікацію потенційних загроз для проекту, їх оцінку та планування заходів для їх запобігання, або зменшення наслідків.

Відповідно (*Areces et al., 2023*) для виключення невизначеності необхідно забезпечити механізми інформативного надходження фідбеків від користувачів: Постійний зворотний зв'язок від користувачів допомагає виявляти проблеми та недоліки програмного забезпечення, що дозволяє швидко вносити виправлення та покращення.

Враховуючи дані підходи на комплексному рівні формуються засади, щодо постійного вдосконалення процесів, які пов'язані із визначенням джерел невизначеності при оцінці якості програмних систем.

В межах комплексного розгляду визначенням джерел невизначеності розглянемо більш детально аспектні засади постійного вдосконалення процесів оцінки якості програмних систем, які пов'язані з визначенням джерел невизначеності, а саме:

- аналіз ідентифікації джерел невизначеності;
- оцінку впливу на якість.

Аналіз ідентифікації джерел невизначеності: Першим кроком є аналіз ідентифікації можливих джерел невизначеності в процесі оцінки якості програмних систем. На практиці реалізація даного аспекту може включати аналіз вимог, змін вимог, ризики, недоліки в тестуванні та інші фактори, які можуть впливати на якість програмного продукту.

На узагальненому рівні зв'язок математичного аналізу джерел невизначеності з оцінкою якості програмних систем полягає у тому, що ідентифікація та управління цими джерелами дозволяє краще розуміти та прогнозувати якість програмного забезпечення. Оцінка якості програмних систем включає в себе ряд параметрів таких, як функціональність, надійність, продуктивність, зручність використання та інші. Джерела невизначеності можуть впливати на ці параметри, тому їх аналіз допомагає покращити загальну якість програмного продукту.

Комплексна методологія, яка поєднує математичний аналіз джерел невизначеності з оцінкою якості програмних систем має включати в себе механізм ідентифікації джерел невизначеності. Згідно (*Behera, 2023*) в загальному випадку аналіз можливих джерел невизначеності в процесі розробки та експлуатації програмного продукту, може включати аналіз вимог, ризиків, недоліків у тестуванні та інших факторів. Зважаючи на важливість математичного підходу, розглянемо модель механізму ідентифікації джерел невизначеності з використанням формул та операторів.

На першому етапі виконується аналіз вимог. Математично зазначений процес можна описати наступним чином: «Нехай R – множина всіх вимог до програмного продукту. Тоді можна визначити джерела невизначеності, як вимоги, які є неоднозначними, або неповними згідно формули (1):

$$U_{req} = \{r_i \in R | r_i\}, \quad (1)$$

де:

r_i – неоднозначна, або неповна вимога.

У відповідності до (*Zhao et al., 2023*) оцінка та аналіз вимог до програмного продукту може допомогти виявити потенційні невизначеності, такі, як неоднозначність вимог, або неповнота опису.

На другому етапі виконується аналіз ризиків, який охоплює процес визначення потенційних ризиків, які можуть виникнути під час розробки, або в експлуатації програмного продукту. Даний процес може включати ризики змін вимог, технічні ризики, ризики зв'язані з ресурсами та інші види ризиків. Математично зазначений процес можна описати наступним чином: «Нехай R –. множина всіх можливих ризиків, що можуть вплинути на якість програмного продукту. Тоді можна визначити джерела невизначеності, як ризики, які мають значний вплив на якість (2):

$$U_{req} = \{z_i \in R | z_i\}, \quad (2)$$

де:

z_i – ризиком, який впливає на якість.

На третьому етапі виконується реалізація аналізу історичних даних: в даний аналіз входить розгляд історичних даних з попередніх проектів, або подібних програмних продуктів для виявлення типових джерел невизначеності. Під час аналізу історичних даних згідно (*Boukhelifa et al., 2023*) можна використовувати статистичні показники для виявлення типових джерел невизначеності. Наприклад, U_{hist} – множина джерел невизначеності, що виявлені під час попередніх проектів, то можна обчислити ймовірність появи кожного джерела невизначеності у відповідності до (3):

$$P(\ U_{hist}) = \frac{|U_{hist}|}{n}, \quad (3)$$

де:

n – кількість проектів.

На четвертому етапі виконується експертна оцінка, реалізація котрої передбачає відповідне залучення експертів у галузі розробки програмного забезпечення для виявлення потенційних джерел невизначеності, на які може впливати їх досвід та знання. В узагальненому випадку у відповідності до (*Bougeret et al., 2023*) експертна оцінка може бути виконана за допомогою експертних знань та досвіду. Нехай E – множина всіх експертних оцінок джерел невизначеності. Тоді можна визначити середню експертну оцінку для кожного джерела (4):

$$\overline{U_{exp}} = \frac{\sum_{i=1}^{m} U_i}{m}, \quad (4)$$

де:

m – кількість експертних оцінок.

В межах аналізу даних, які отримують в наслідок застосування формул (1-4) та визначення загальної ймовірності виникнення джерел невизначеності можна використовувати різні оператори такі, як логічні оператори, оператори порівняння, арифметичні оператори тощо. Наприклад, для визначення загальної ймовірності виникнення джерел невизначеності можна використовувати формулу (5):

$$P(U_{total}) = P\left(U_{req}\right) + P(U_{risk}) + P(U_{hist}) + P\left(U_{exp}\right), \quad (5)$$

де:

$P(U_{total})$ – загальна ймовірність виникнення джерел невизначеності.

На практиці вище наведений математичний аналіз джерел невизначеності з оцінкою якості програмних систем дозволяє здійснювати більш об’єктивну та систематичну оцінку потенційних ризиків, які можуть виникнути під час розробки та експлуатації програмного продукту. Наведемо переваги запропонованого підходу:

- Раннє виявлення ризиків: Аналіз джерел невизначеності може бути проведений на ранніх етапах проекту, навіть перед початком розробки програмного продукту. Це дозволяє розробникам та менеджерам з ризиками виявити потенційні проблеми та прийняти заходи щодо їх управління ще до того, як вони стануть критичними;
- Об’єктивна оцінка ризиків: Використання математичних методів дозволяє об’єктивно оцінювати ймовірність виникнення різних джерел невизначеності та їх вплив на якість програмного продукту. Це допомагає уникнути суб'єктивних оцінок та забезпечити більш точне прийняття рішень;
- Покращення планування проекту: Результати аналізу джерел невизначеності можуть бути використані для покращення планування проекту. Наприклад, виявлені ризики можуть бути враховані при розробці графіку проекту та розподілі ресурсів;
- Мінімізація витрат та збільшення ефективності: Раннє виявлення та управління джерелами невизначеності дозволяє уникнути непередбачених витрат і затримок у розробці. Це допомагає збільшити ефективність проекту та знизити його загальні витрати.
- Забезпечення високої якості продукту: Аналіз джерел невизначеності допомагає виявити та управляти ризиками, які можуть негативно вплинути на якість програмного продукту. Це дозволяє забезпечити високу якість програмного забезпечення та задоволення потреб користувачів.

Отже, математичний аналіз джерел невизначеності на практиці допомагає підвищити ефективність та якість розробки програмних систем, зменшити ризики та забезпечити успішне завершення проекту.

Розглянемо методологічні особливості класифікації джерел невизначеності за впливом на якість. Вище зазначена класифікація зводиться до розподілу ідентифікованих джерел невизначеності на категорії в залежності від їх потенційного впливу на різні аспекти якості програмного забезпечення. В дану класифікацію відповідно входять:

- критичні джерела невизначеності;
- суттєві джерела невизначеності;
- мінорні джерела невизначеності;
- невизначеності, пов’язані з зовнішніми факторами.

Згідно (*Clarté et al., 2023*) до критичних джерел невизначеності відносять джерела невизначеності, які мають найбільший потенційний вплив на ключові аспекти якості програмного продукт такі, як надійність, безпека, або продуктивність. Наприклад, помилки в критичних алгоритмах, або невідповідність основним функціональним вимогам. Математично кількість критичних джерел невизначеності можна розрахувати у відповідності до формули (6):

$$|U_{Critical}| = \sum_{u \in U} \delta(u) \cdot \beta(u) \quad (6)$$

де:

$\delta(u)$ – функція, яка повертає 1, якщо, джерело u є критичним, і 0 в іншому випадку,

$\beta(u)$ – коефіцієнт впливу джерела u на якість програмного забезпечення,

U – множина всіх ідентифікованих джерел невизначеності,

$U_{Critical} \subseteq U$ – множина критичних джерел невизначеності.

Згідно (*Mena, 2020*) до суттєвих джерел невизначеності відносять джерела невизначеності, які можуть впливати на якість програмного продукту, але не настільки критичні, як критичні джерела невизначеності. Наприклад, невідповідність деяких необов'язкових функцій, або можливі зміни в інтерфейсі користувача. Математично кількість суттєвих джерел невизначеності можна розрахувати у відповідності до формули (7):

$$\left|U_{Significant}\right| = \sum_{u \in U} s(u) \cdot \gamma(u) \quad (7)$$

де:

$s(u)$ – функція, яка повертає 1, якщо, джерело u є суттєвим, і 0 в іншому випадку,

$\gamma(u)$ – коефіцієнт впливу джерела u на якість програмного забезпечення із врахуванням впливу суттєвих джерел невизначеності.

Згідно (*Tsapetis et al., 2023*) до мінорних джерел невизначеності відносять невизначеності, які мають незначний вплив на якість програмного продукту і можуть бути легко виправлені, або проігноровані. Наприклад, невеликі помилки в тексті документації, або невеликі зміни в зовнішньому вигляді програми. Математично кількість мінорних джерел невизначеності можна розрахувати у відповідності до формули (8):

$$|U_{Minor}| = \sum_{u \in U} m(u) \cdot a(u) \quad (8)$$

де:

$m(u)$ – функція, яка повертає 1, якщо, джерело u є мінорним, і 0 в іншому випадку,

$a(u)$ – коефіцієнт впливу джерела u на якість програмного забезпечення із врахуванням впливу мінорних джерел невизначеності.

Згідно (*Cappelli et al., 2020*) до невизначеностей, які пов'язані з зовнішніми факторами відносять джерела невизначеності, які виникають через зовнішні впливи, такі як зміни в інфраструктурі, конкурентний тиск, або нові регуляції. Ці фактори можуть впливати на якість програмного забезпечення, але їх важко контролювати. Математично кількість джерел невизначеностей, які пов'язані з зовнішніми факторами можна розрахувати у відповідності до формули (9):

$$|U_{External}| = \sum_{u \in U} z(u) \cdot \theta(u) \quad (9)$$

де:

$z(u)$ – функція, яка повертає 1, якщо, джерело u відноситься до джерел невизначеності, які виникають через зовнішні впливи, і 0 в іншому випадку,

$z(u)$ – коефіцієнт впливу джерела u на якість програмного забезпечення із врахуванням впливу джерел невизначеності, які виникають через зовнішні впливи.

В результаті узагальнену формулу в межах врахування класифікації джерел невизначеності за впливом на якість можна представити у вигляд виразу (10):

$$Q = \left(|U_{Critical}|(y_1) + \left|U_{Significant}\right|(y_2) + |U_{Minor}|(y_3) + |U_{External}|(y_4)\right) \quad (10)$$

де:

y_1 , y_2 , y_3, y_4 – коефіцієнти важливості для критичних, суттєвих, мінорних джерел невизначеності та зовнішніх факторів.

Вище наведена формула (10) дозволяє врахувати вагомість кожного виду джерел невизначеності, а також враховувати їх кількість, що може бути корисним при оцінці впливу на якість програмного продукту.

Оптимізація проблеми формалізації невизначеності у вимогах до програмного забезпечення

Одним із новітніх математичних рішень, яке можна запропонувати для оптимізації проблеми формалізації невизначеності у вимогах до програмного забезпечення, є застосування методів машинного навчання та аналізу даних. На основі великих обсягів даних про попередні проекти програмного забезпечення можна розробити модель, яка прогнозує ймовірність виконання кожної вимоги на основі її характеристик та контексту. Такий підхід дозволяє автоматизувати процес визначення невизначеності та робити більш точні прогнози. Також можливо застосування методів оптимізації таких, як генетичні алгоритми чи методи оптимізації за допомогою штучних нейронних мереж, для пошуку оптимального розподілу ресурсів та стратегій керування невизначеністю в програмному забезпеченні. Такі підходи дозволяють покращити якість та ефективність процесів розробки програмного забезпечення, зменшуючи вплив невизначеності на кінцевий результат.

Представимо вище вказане у вигляді моделі прогнозування ймовірності виконання кожної вимоги на основі її характеристик та контексту. Нехай

- $V = \{\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_n, \}$ – множина вимог до програмного забезпечення, де n кількість вимог;
- $X = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}, \}$ – множина характеристик (ознак) вимоги ϑ_i, де m – кількість характеристик;
- y_i – цільова змінна, яка відображає ймовірність виконання вимоги ϑ_i.

Тоді модель прогнозування може бути визначена, як функція $f: X \to [0,1]$, яка призначає кожній вимозі ймовірність виконання. Метою є навчання моделі на основі тренувальних даних $D = \{(X_1 y_1), (X_2 y_2), \dots, (X_N y_N), \}$, де N, кількість прикладів у тренувальному наборі.

На початку процесу ми збирали дані про вимоги, включаючи їх характеристики та контекст, які можуть впливати на їх виконання, а саме складність, терміни виконання, пріоритет, критичність тощо. Також застосували наведені вище класифікацію джерел невизначеності, та формули (1-10).

Задача полягає у мінімізації функції втрат L між прогнозованими ймовірностями і справжніми значеннями (11):

$$L = \sum_{i=1}^{N} L\big(y_i, f(X_i)\big) \tag{11}$$

де:

L може бути різними функціями втрат такими, як середньоквадратична помилка для задач регресії, або крос-ентропія для задач класифікації.

На методичному рівні для навчання вище наведеної моделі у відповідності до (*Gray et al., 2023*) застосували:

- градієнтний спуск;
- методи оптимізації: Adam та RMSprop;
- алгоритми машинного навчання такі, як глибокі нейронні мережі, градієнтні дерева випадкового лісу тощо.

Вище зазначені методи дозволяють навчити модель на тренувальних даних і використовувати її для прогнозування ймовірностей виконання вимог у реальних проектах програмного забезпечення.

Розробляючи систему прогнозування ймовірності виконання вимог відмітимо, що дана система базується на методах машинного навчання і використовується для прогнозування ймовірності виконання кожної вимоги на основі її характеристик. Основна ідея полягає в тому, щоб на основі статистичного аналізу попередніх проектів програмного забезпечення побудувати модель, яка здатна передбачати ймовірність виконання вимоги на основі інформації про неї.

На програмному рівні для розробки цієї системи згідно з (*Cappelli et al., 2020*) доцільно використовувати спеціалізовані бібліотеки машинного навчання такі, як TensorFlow та Scikit-learn, які в повній мірі забезпечують побудову та навчання моделі.

Після навчання модель може бути використана для прогнозування ймовірності виконання вимоги в реальних проектах програмного забезпечення.

У відповідності до (*Drozhkin, 2022*), доцільно передбачити, додаткове застосування модульної системи, яка використовує методи оптимізації для пошуку оптимального розподілу вагових коефіцієнтів між вимогами з метою мінімізації загальної невизначеності. Математично, це може бути сформульовано, як задача оптимізації, де метою є мінімізація загальної невизначеності U, яка обчислюється, як сума вагових коефіцієнтів.

В межах практичної реалізації проектного рішення у відповідності до (*Areces et al., 2023*) доцільно передбачити можливість застосування алгоритмів оптимізації: зокрема генетичних алгоритмів, методів оптимізації за допомогою штучних нейронних мереж, або методів оптимізації на основі градієнтів, для пошуку оптимального розподілу вагових коефіцієнтів. В нашому випадку для розробки цієї системи було вирішено використовувати спеціалізовані бібліотеки оптимізації: SciPy та CVXPY, які забезпечили реалізацію алгоритмів оптимізації та пошуку найкращого розподілу вагових коефіцієнтів (*Рисунок 1*). В результаті подальшої практичної програмно-розробницької реалізації вище зазначені рішення із розробки комплексної системи були інтегровані разом для забезпечення кращого управління невизначеністю вимог та підвищення якості процесу розробки програмного забезпечення.

В результаті розроблений код програмного рішення (*Рисунок 1*) визначає функцію обчислення загальної невизначеності, яка обчислює суму вагових коефіцієнтів. Початковий розподіл вагових коефіцієнтів встановлюється на рівні 0.5 для кожного коефіцієнта. В межах вирішення задач оптимізації встановлюються обмеження для вагових коефіцієнтів (в нашому випадку поставилась умова, що їх сума повинна бути

рівна 1). Після чого було використано метод мінімізації для пошуку оптимального розподілу вагових коефіцієнтів. І в результаті оптимальний розподіл вагових коефіцієнтів виводиться на екран. В межах побудови системи, для створення комплексного підходу до управління невизначеністю вимог у процесі розробки програмного забезпечення були поєднані вище запропоновані системні рішення (поєднано систему прогнозування ймовірності виконання вимог та систему оптимізації розподілу вагових коефіцієнтів). Для даного об'єднання у відповідності до (*Liao, 2023*) була застосована стратегія використання прогнозованої ймовірності, щодо виконання вимог для визначення їх вагових коефіцієнтів у системі оптимізації, що дозволило в кінцевому випадку забезпечити реалізацію комплексного підходу до управління невизначеністю вимог у процесі розробки програмного забезпечення.

Відмітимо, що при розробці забезпечили навчання моделі прогнозування ймовірностей виконання вимог на основі наборів тренувальних даних, а саме:

- Quality Assessment Dataset (QAD);
- Bug Prediction Dataset (BPD) – Набір даних для передбачення виникнення помилок та оцінки якості програм;
- Code Quality Benchmark (CQB) – Стандартний набір даних для порівняння та оцінки якості програмного коду.

Зазначені тренувальні набори було взято із: GitHub та UCI Machine Learning Repository.

Після навчання моделі виконується прогнозування ймовірності виконання вимог для тестового набору даних. Потім застосовується функція uncertainty, яка обчислює загальну невизначеність з урахуванням вагових коефіцієнтів, помножених на прогнозовані ймовірності виконання вимог. У відповідності до (*Boukhelifa et al., 2023*) для того щоб знайти оптимальний розподіл вагових коефіцієнтів з урахуванням цієї загальної невизначеності було застосовано метод мінімізації.

В межах розробки використовувались декілька популярних бібліотек для роботи з машинним навчанням та забезпечення оптимізації, а саме:

- бібліотека Pandas: була застосована для обробки та аналізу даних, яка дозволила зручно завантажувати, обробляти та маніпулювати даними, що забезпечило ефективну роботу з наборами даних;
- бібліотека Scikit-learn: застосувалася для машинного навчання в Python, що містить багато реалізацій алгоритмів машинного навчання та інструментів для оцінки моделей, що робить легким створення, навчання та оцінювання моделей.
- бібліотека SciPy: застосувалася для забезпечення наукових обчислень так, як дана бібліотека у відповідності до (*Tsapetis et al., 2023*) містить багато інструментів для оптимізації, лінійної алгебри, інтегрування та інших математичних обчислень. В межах даної бібліотеки застосовувався метод «minimize з SciPy», що дозволяло знаходити оптимізаційний мінімум функції.

Відмітимо, що в межах розробки вибір стратегії управління невизначеністю був здійснений за допомогою теорії прийняття рішень (дана математична теорія досліджує процеси прийняття рішень в умовах невизначеності та ризику).

Дискусія

Запропонований в статті механізм ідентифікації джерел невизначеності в комплексній методології для оцінки якості програмних систем відрізняється від підходів, які описані в праці (*Haiderzai & Khattab, 2019*) тим, що завдяки його застосуванню вдається ретельно систематизувати всі можливі джерела невизначеності, що можуть виникнути в процесі розробки та експлуатації програмного забезпечення.

Описані в статті рішення можна порівняти з різними підходами до управління невизначеністю вимог у програмному забезпеченні. Зокрема порівнюючи із працею (*Areces et al., 2023*) де пропонуються застосовувати традиційні методи без використання машинного навчання, або оптимізації. В таких підходах невизначеність вимог зазвичай керується за допомогою ручного аналізу та експертних оцінок. Порівняно з цим, запропоновані в нашій статі рішення пропонують реалізовувати автоматизований та більш об'єктивний підхід до управління невизначеністю за допомогою методів машинного навчання та оптимізації. Даний підхід за своїм спрямуванням частково схожий із підходами, які висвітленні в праці (*Behera, 2023*) проте рішення, які наведені в тій праці можуть використовувати лише моделі машинного навчання для прогнозування ймовірності виконання вимог без подальшої оптимізації. У порівнянні з такими рішеннями, описана в нашій роботі система додає елемент оптимізації, що дозволяє автоматично керувати ваговими коефіцієнтами для кращого управління невизначеністю.

Порівнюючи підходи, що базуються виключно на оптимізації варто зазначити, що рішення, які описані в праці (*Galli et al., 2023*) використовують лише методи оптимізації для розподілу ресурсів та керування невизначеністю. Тоді, як описана система використовує комбінацію методів машинного навчання та оптимізації, що може призвести до більш точного та ефективного управління невизначеністю.

Використання запропонованих в роботі методів машинного навчання для прогнозування ймовірності виконання вимог та методів оптимізації для знаходження оптимального розподілу вагових коефіцієнтів в розробленій системі відрізняється від деяких існуючих рішень у наступних аспектах:

- Комбінація методів: У запропонованій розробці використовується комбінація методів машинного навчання та оптимізації для керування невизначеністю вимог. Це означає, що система використовує, як прогнози, котрі отримані з моделей машинного навчання так і оптимізовані вагові коефіцієнти для кращого управління невизначеністю;
- Реалізація конкретних алгоритмів: У даному випадку, для прогнозування ймовірності виконання вимог використовується алгоритм RandomForestClassifier. Цей алгоритм добре працює з різними типами даних та мають високу точність прогнозування. Також для оптимізації використовується бібліотека SciPy, яка містить різноманітні алгоритми оптимізації такі, як метод мінімізації, що дозволяє знаходити оптимальні розподіли вагових коефіцієнтів;
- Більш гнучкий підхід: Використання методів машинного навчання дозволяє моделі адаптуватися до нових даних та змінюватися відповідно до зміни умов, що робить систему більш гнучкою та ефективною у різних сценаріях;

- Об'єктивність: Використання алгоритмів машинного навчання та оптимізації дозволяє системі працювати на основі об’єктивних даних та алгоритмів уникнувши суб'єктивності та помилок, які пов’язані з ручним аналізом, або прийняттям рішень експертом.

Отже, використання комбінації методів машинного навчання та оптимізації із застосуванням формалізації невизначеності у вимогах до програмного забезпечення на базі застосування методів машинного навчання та аналізу даних у запропонованій розробці дозволяє створити більш ефективну та об'єктивну систему управління невизначеністю вимог.

Висновки

1. Механізм ідентифікації джерел невизначеності допомагає зрозуміти, з якими факторами може стикнутися команда розробки під час реалізації програмного продукту. Це дає можливість підготуватися до них, розробити стратегії управління ризиками та невизначеністю і забезпечити більш високу якість програмного забезпечення.
2. Механізм ідентифікації джерел невизначеності в комплексній методології взаємодіє з іншими етапами оцінки якості програмного забезпечення такими як аналіз ризиків, тестування та моніторинг якості. Це дозволяє забезпечити комплексний та збалансований підхід до управління невизначеністю.
3. Використання комбінації методів машинного навчання та оптимізації з формалізацією невизначеності у вимогах до програмного забезпечення на базі методів машинного навчання та аналізу даних у запропонованій розробці дозволяє створити більш ефективну та об’єктивну систему управління невизначеністю вимог у порівнянні з деякими існуючими підходами. Перш за все, використання методів машинного навчання дозволяє побудувати модель прогнозування ймовірності виконання вимог на основі їх характеристик, що допомагає визначити ймовірність успішності виконання кожної вимоги. Це дозволяє отримувати об'єктивні прогнози та підвищує надійність системи.

Другою ключовою складовою є використання оптимізаційних методів для знаходження оптимального розподілу вагових коефіцієнтів, що дозволяє керувати невизначеністю вимог та максимізувати якість рішень. Цей підхід забезпечує ефективне розподілення ресурсів та забезпечує оптимальний результат в умовах невизначеності. Третім аспектом є використання аналізу даних та методів машинного навчання для ідентифікації джерел невизначеності вимог до програмного забезпечення, що дозволяє заздалегідь визначити потенційні ризики та прийняти відповідні заходи для їх управління. В результаті використання комбінації цих методів у запропонованій розробці забезпечує більш ефективний та об’єктивний підхід до управління невизначеністю вимог до програмного забезпечення, порівняно з деякими існуючими підходами. Це дозволяє підвищити надійність, якість та ефективність розроблюваного програмного продукту.

Конфлікти інтересів

Автор заявил, що конфлікту інтересів немає.

Список джерел інформації:

Areces, C. et al. (2023). Uncertainty-based knowing how logic. *Journal of Logic and Computation*, exad056. https://doi.org/10.1093/logcom/exad056

Behera, D. (2023). Alternative methodology for epistemic uncertainty-based linear programming problem. *Soft Computing*. https://doi.org/10.1007/s00500-023-08725-5

Bougeret, M. et al. (2023). Single machine robust scheduling with budgeted uncertainty. *Operations Research Letters*, *51*(2), 137-141. https://doi.org/10.1016/j.orl.2023.01.007

Boukhelifa, N. et al. (2023). Visualization and decision-making design under uncertainty. *IEEE Computer Graphics and Applications*, *43*(5), 23-25. https://doi.org/10.1109/mcg.2023.3302172

Cappelli, V. et al. (2020). Sources of uncertainty and subjective prices. *Journal of the European Economic Association*, *19*(2), 872-912. https://doi.org/10.1093/jeea/jvaa013

Clarté, L. et al. (2023). Theoretical characterization of uncertainty in high-dimensional linear classification. *Machine Learning: Science and Technology*, *4*(2). https://doi.org/10.1088/2632-2153/acd749

Dorn, J. et al. (2023). Mastering uncertainty in performance estimations of configurable software systems. *Empirical Software Engineering*, *28*(2). https://doi.org/10.1007/s10664-022-10250-2

Drozhkin, A. A. (2022). Analyzing current approaches to assessing the quality of software products. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*, *6*, 207-218. https://doi.org/10.21686/2413-2829-2022-6-207-218

Galli, T. et al. (2023). Practical consequences of quality views in assessing software quality. *Axioms*, *12*(6), 529. https://doi.org/10.3390/axioms12060529

Gray, N. et al. (2023). Towards an automatic uncertainty compiler. *International Journal of Approximate Reasoning*, 108951. https://doi.org/10.1016/j.ijar.2023.108951

Guaman, D. S. et al. (2020). A systematic mapping study on software quality control techniques for assessing privacy in information systems. *IEEE Access*, *8*, 74808-74833. https://doi.org/10.1109/access.2020.2988408

Haiderzai, M. D., & Khattab, M. I. (2019). How software testing impacts the quality of software systems? *International Journal of Engineering in Computer Science*, *1*, 47-51. https://doi.org/10.33545/26633582.2019.v1.i1a.14

Liao, M. et al. (2023). A unified model of data uncertainty and data relation uncertainty. *Knowledge-Based Systems*, 110811. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2023.110811

Mena, R. J. (2020). *Modelling uncertainty in black-box classification systems* [Doctoral thesis, Universitat de Barcelona]. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). http://hdl.handle.net/10803/670763

Pankov, P. S., & Tagaeva, S. B. (2020). Systems of differential equations and computer phenomena. *Herald of Institute Mathematics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic*, (2), 86-93. https://doi.org/10.52448/16948173_2020_2_86

Tikhanychev, O. V. (2020). On improving indicators for assessing the decision support systems' software quality. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *919*, 052009. https://doi.org/10.1088/1757-899x/919/5/052009

Tsapetis, D. et al. (2023). UQpy v4.1: Uncertainty quantification with Python. *SoftwareX*, *24*, 101561. https://doi.org/10.1016/j.softx.2023.101561

Vinogradova, M. et al. (2021). Assessing the sources of uncertainty in supply chain management. *Strategic Change*, *30*(5), 453-460. https://doi.org/10.1002/jsc.2465

Walkinshaw, N., & Hierons, R. M. (2023). Modelling second-order uncertainty in state machines. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 1-16. https://doi.org/10.1109/tse.2023.3250835

Zhang, X. et al. (2023). Informative data selection with uncertainty for multimodal object detection. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 1-13. https://doi.org/10.1109/tnnls.2023.3270159

Zhao, J. et al. (2023). Evaluating the impact of uncertainty visualization on model reliance. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 1-15. https://doi.org/10.1109/tvcg.2023.3251950

Додаток

```python
import pandas as pd
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
from scipy.optimize import minimize

# Loading the training data
data = pd.read_csv('training_data.csv')

# Splitting into training and testing sets for prediction system
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(data.drop('target', axis=1), d

# Training the prediction model
model = RandomForestClassifier()
model.fit(X_train, y_train)

# Predicting probabilities of fulfilling requirements for optimization system
predicted_probabilities = model.predict_proba(X_test)[:, 1]

# Function to compute total uncertainty considering weighted coefficients
def uncertainty(weights):
    total_uncertainty = sum(weights * predicted_probabilities)
    return total_uncertainty

# Initial distribution of weighted coefficients
initial_weights = [0.5] * len(predicted_probabilities)

# Constraints for weighted coefficients (e.g., sum = 1)
constraints = ({'type': 'eq', 'fun': lambda weights: sum(weights) - 1})

# Minimizing total uncertainty
result = minimize(uncertainty, initial_weights, constraints=constraints)

# Optimal distribution of weighted coefficients
optimal_weights = result.x
```

Рисунок 1. Фрагмент коду системи, що оптимізує задачу формалізації невизначеності у вимогах до програмного забезпечення

DOI 10.47451/inn2024-05-03

Valerii V. Semenets[10], *Igor V. Prasol*[11]

Software and hardware microcontroller complex for vibration monitoring [6]

Abstract: Modern technological processes require continuous monitoring of many parameters of technological equipment. Mechanical parameters are the most important ones, in particular, mechanical vibrations of the object under study. Such monitoring is required in various fields of science and technology. The purpose of the study is to build a microcontroller-based system that allows analyzing vibration parameters of a technical object to prevent possible accidents. The formulation of the problem of constructing a hardware and software complex based on the STM32F407VG microcontroller for studying vibrations with the LIS3DSH accelerometer is presented. A physical model of the system, including a microcontroller and a three-axis digital accelerometer LIS3DSH, has been designed and implemented. The system is characterized by a low price of the technical solution. The interaction between the microcontroller and the accelerometer occurs via the SPI interface. Specialized software for the system has been developed and implemented, including a driver for setting up, collecting, and processing data from the accelerometer and corresponding software for plotting vibration acceleration graphs of signals in the time and frequency domains. The built-in software makes it possible to implement a wide range of functionality and freely use it. The constructed system makes it possible to analyze vibration parameters to anticipate and prevent possible accidents, reducing costs associated with the failure of expensive parts and components.

Keywords: software and hardware complex, vibrations, accelerometer, software, register, interface, microcontroller.

Програмно-апаратний комплекс на базі мікроконтролера для дослідження вібрацій

Анотація: Сучасні технологічні процеси вимагають постійного контролю багатьох параметрів технологічного обладнання. Найбільш важливими є механічні параметри, зокрема, механічні коливання досліджуваного об'єкта. Такий моніторинг необхідний в різних областях науки і техніки. Метою роботи є побудова системи на базі мікроконтролера, яка дає можливість проводити аналіз параметрів вібрації технічного об'єкта для запобігання можливих аварій. Приведена постановка задачі побудови програмно-апаратного комплексу на базі мікроконтролера STM32F407VG для дослідження вібрацій акселерометром LIS3DSH. Спроектовано та реалізовано фізичну модель системи, яка включає мікроконтролер, трьохосьовий цифровий акселерометр LIS3DSH. Система характеризується низькою ціною технічного рішення. Взаємодія між мікроконтролером та акселерометром відбувається через інтерфейс SPI. Розроблено та реалізовано спеціалізоване програмне забезпечення системи, яке включає драйвер для налаштування, збору і опрацювання даних з акселерометра та відповідне програмне забезпечення для побудови графіків сигналів віброприскорення в часовій і частотній областях. Побудоване програмне забезпечення дає змогу реалізувати широкі функціональні можливості та є вільним для використовування. Побудована система дає можливість проводити аналіз параметрів вібрації з метою передбачення і запобігання можливих аварій, зменшуючи затрати пов'язані з виходом із ладу дорогих деталей і вузлів.

Ключові слова: програмно-апаратний комплекс, вібрації, акселерометр, програмне забезпечення, регістр, інтерфейс, мікроконтролер.

Вступ

Сучасні технологічні процеси потребують безперервного контролю за багатьма параметрами технологічного обладнання. Одними з найважливіших є механічні параметри, зокрема механічні вібрації досліджуваного об'єкта.

Подібний контроль необхідно в різних областях науки та техніки. Наприклад, в напівпровідниковій електроніці – для контролю вібрації установок вирощування кристалів, а в мікроелектроніці – для контролю вібрацій установок фотолітографії. В машинобудуванні такий контроль використовується для визначення вібрацій верстатів, а в автомобільній промисловості – щоб контролювати вібрації окремих вузлів і автомобіля в цілому. На залізничному транспорті контролюють вібрації, щоб визначити наближення поїзда, в енергетиці – для контролю вібрації лопаток газових турбін та контролю вібрацій в газопроводах, а в авіабудуванні – щоб контролювати політ і т.п.

Отже, розробка систем призначених для моніторингу та аналізу вібрацій технічних об'єктів є актуальним питанням сьогодення.

Результати дослідження

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми вібраційної діагностики обладнання

Розробленню систем моніторингу та аналізу вібрацій присвячено різні науково-технічні статті. Зокрема, в роботі Raţă розроблено систему моніторингу та аналізу вібрацій, що виникають в електромоторах (*Raţă & Raţă, 2014*). Система використовує п'єзоелектричний акселерометр (ICP 603C11) і плату збору даних від National Instruments (NI 6009). Вібраційні сигнали збираються з різних частин електричних моторів і передаються на комп'ютер через плату збору даних. Віртуальний інструмент, що дає змогу в реальному часі моніторити і проводити Фур'є аналіз отриманих сигналів з сенсора вібрацій реалізовано в LabVIEW. В роботі M. Milovančević та ін. (*2014*) розроблено вбудовану систему для моніторингу вібрацій насосного агрегату на базі мікроконтролера від компанії Microchip. Програмне забезпечення (ПЗ) для збору і аналізу даних оптимізовано для тестування помп з турбонаддувом з швидкостями обертання до 2000 об/хв. Автори провели велику кількість вимірювань за допомогою розробленої системи на різних турбоагрегатах для визначення експлуатаційних умов насосних агрегатів (*Milovančević, 2014*). В статті S. M. S. Rocha та ін. (*2016*) описано метод визначення переміщення та швидкості з сигналів прискорення отриманих з акселерометрів, а в статті H. Sekiya та ін. (*2016*) розроблено методику моніторингу надійності мостових конструкцій використовуючи MEMC акселерометри. В статті побудовано систему моніторингу верстатів і процесів механічної обробки (*Sekiya et al., 2016*). Система збору вібраційного сигналу базується на мікроконтролері Arduino, який підключено до комп'ютера через USB порт. Спеціальне розроблене ПЗ під LabVIEW зчитує та опрацьовує дані в реальному масштабі часу. В статті Goyal та Pabla (*2016*) досліджено придатність мікро-електромеханічних

(МЕМС) акселерометрів для моніторингу стану верстатів з ЧПК. Тести проведено на реально-діючому верстаті з ЧПК в типовому промисловому цеху. Показано, що МЕМС давачі можуть бути хорошою альтернативою до стандартних сенсорів вібрації, оскільки вони не потребують важких електрометричних підсилювачів. Вибір такого давача має бути зроблений відповідно до вимог застосування і результату тесту на придатність. Ряд авторів використовують мікроконтролери Arduino в апаратно-програмній системі для вимірювання механічних вібрацій (*Albarbar, 2008*). В якості давачів вібрації використано акселерометри ADXL335. Розроблена система використовувалася для дослідження та моніторингу вібрацій вакуумної помпи. Дослідження показали можливість і доцільність розроблення вбудованих систем моніторингу вібрацій в реальному масштабі часу з використанням недорогого апаратного та ПЗ. Використання іншого типу мікроконтролера наведено в роботах (*Hjort & Holmberg, 2015*; *Chaudary et al., 2014*). Зокрема, запропоновано систему моніторингу вібрацій ротаційних машин, верстатів, яка побудована на мікроконтролері PIC-18F6520 і акселерометрі ADXL322. Проведено дослідження на перевірку можливості реєструвати піки частот появи відмов для різних випадків несправностей. Найкращими підходами і технічними рішеннями серед описаних вище для розв'язання розглядуваного кола задач можна віднести методи, які описані в роботах (*Raţă & Raţă, 2014*; *Rocha et al., 2016*). Методи дослідження ґрунтувалися на проведенні експериментів з різними технічними об'єктами, що включали вимірювання параметрів вібрації, їх обробку та аналіз за допомогою власно розроблених апаратно-програмних систем. Розроблені системи є закритими та мають високу ціну, що не дає змоги розширювати їх функціональні можливості та модифікацію до відповідних потреб експлуатації. Отже, аналіз існуючих підходів та технічних рішень привів до розроблення якісно нової недорогої відкритої апаратно-програмної системи моніторингу вібрацій в реальному масштабі часу (*Semenetz & Leonidov, 2019*; *Леонідов та Семенець, 2019*; *Leonidov, 2014*; *Семенець та Леонідов, 2023*; *Зубков та ін., 2022*; *Семенець та Леонідов, 2020a*; *Семенець та Леонідов, 2020b*). Така система має бути побудована на доступних і недорогих комплектуючих, відкритому ПЗ та з можливістю модифікації або розширення її функціональних можливостей відповідно до вимог та області застосування.

Попередні дані

Виходячи з аналізу, проведеного вище, найбільш підходящим варіантом є використання датчиків MEMS типу. Особливістю таких датчикі є малий розмір корпусу та низька ціна. Більшість таких датчиків підтримують інтерфейс SPI. З найбільш сучасних моделей можливо виділити LIS3DSH, який позиціонуються виробником як спеціалізоване рішення для розробки віброметрів промислового обладнання. LIS3DSH – це датчик руху з цифровим виходом (виготовлений за технологією MEMS).

Застосування: Інтерфейс користувача для керуванням рухом, ігри та віртуальна реальність, крокомір, інтелектуальне енергозбереження для портативних пристроїв, орієнтація дисплея, розпізнавання клацання/подвійного клацання, розпізнавання та реєстрація ударів, контроль і компенсація вібрацій.

Опис. LIS3DSH – це високопродуктивний трьохосьовий лінійний акселерометр із наднизьким енергоспоживанням, що належить до сімейства «нано» з вбудованим кінцевим автоматом, який можна запрограмувати для реалізації автономних програм. LIS3DSH має повні шкали ±2g/±4g/±6g/±8g/±16g і він здатний вимірювати

прискорення зі швидкістю вихідних даних від 3,125 Гц до 1,6 КГц. Можливість самоперевірки дозволяє користувачеві перевірити роботу датчика в кінцевому застосуванні.

Пристрій можна налаштувати для генерування сигналів переривання, активованих шаблонами руху, визначеними користувачем.

LIS3DSH має інтегрований буфер – «першим увійшов, першим вийшов» (FIFO), що дозволяє користувачеві зберігати дані для зменшення втручання головного процесора. LIS3DSH доступний у невеликому тонкому пластиковому корпусі (LGA), і він гарантовано працює в розширеному діапазоні температур від –40°C до +85°C.

Чутливість. Чутливість може бути визначена, наприклад, прикладаючи до нього прискорення 1g. Оскільки датчик може вимірювати прискорення постійного струму, це можна легко зробити, направивши вісь інтересу до центру землі, відзначивши вихідне значення, повернувши датчик на 180° (вказуючи на небо) і знову запам'ятавши вихідне значення. При цьому до датчика прикладається прискорення ±1g. Віднімання більшого вихідного значення від меншого та ділення результату на 2 призводить до фактичної чутливості датчика. Це значення дуже мало змінюється з температурою, а також з часом.

Нульовий рівень перевантаження. Зсув рівня нульової перевантаження (TyOff) описує відхилення фактичного вихідного сигналу від ідеального вихідного сигналу за відсутності прискорення. Датчик у стаціонарному стані на горизонтальній поверхні вимірює 0 g по осі X і 0 g по осі Y, тоді як вісь Z має 1 g. Вихідний сигнал ідеально знаходиться в середині динамічного діапазону датчика (вміст регістрів OUT 00h, дані виражені як доповнення до 2). Відхилення від ідеального значення в цьому випадку називається нульовим зсувом. Зміщення певною мірою є результатом навантаження на датчик MEMS, тому зміщення може дещо змінитися після встановлення датчика на друковану плату. Зсув незначно змінюється в залежності від температури.

Самоперевірка. Самоперевірка дозволяє перевірити працездатність датчика, не переміщаючи його. Функція само тестування вимкнена, коли біт само тестування (ST) запрограмований на «0». Коли біт самотестування запрограмований на «1», до датчика прикладається сила приведення в дію, імітуючи певне прискорення вхідного сигналу. У цьому випадку вихідні сигнали датчика демонструють зміну своїх рівнів постійного струму. Коли самотестування активовано, вихідний рівень пристрою визначається алгебраїчною сумою сигналів, створених прискоренням, що діє на датчик, і електростатичною випробувальною силою.

Чутливий елемент. MEMS технологія використовується для створення поверхневого акселерометра. Технологія дозволяє створювати підвішені кремнієві структури, які прикріплені до підкладки в кількох точках, які називаються якорями, і можуть вільно рухатися в напрямку вимірюваного прискорення.

Коли до датчика прикладається прискорення, пробна маса зміщується зі свого номінального положення, викликаючи дисбаланс у ємнісному напівмосту. Цей дисбаланс вимірюється за допомогою інтегрування заряду у відповідь на імпульс напруги, прикладений до конденсатора.

У стаціонарному режимі номінальне значення конденсаторів становить кілька пФ. Повний ланцюг вимірювань складається з малошумного ємнісного підсилювача, який

перетворює ємнісний дисбаланс датчика MEMS в аналогову напругу, яка врешті стає доступною для користувача через аналого-цифровий перетворювач.

Доступ до даних прискорення можна отримати через інтерфейс I^2C/SPI, що робить пристрій особливо придатним для прямої взаємодії з мікроконтролером.

Цифрові магістральні блоки LIS3DSH. LIS3DSH містить два кінцевих автомати, здатні запускати визначену користувачем програму.

Програма складається з набору інструкцій, які визначають перехід до послідовних станів. Можливі умовні розгалуження.

З кожного стану (n) можливий перехід до наступного стану (n+1) або скидання стану. Перехід до точки скидання відбувається, коли «умова скидання» виконується; Перехід до наступного кроку відбувається, коли виконується «НАСТУПНА умова».

Кожен кінцевий автомат дозволяє реалізувати розпізнавання різних станів: вільне падіння, пробудження, 4D/6D орієнтація, лічильник пульсу та розпізнавання кроків, клацання/подвійне клацання, струшування/подвійне струшування, обличчям догори/обличчям вниз, поворот/подвійний поворот.

FIFO. В LIS3DSH вбудоване FIFO даних прискорення для кожного з трьох вихідних каналів, X, Y і Z. Це забезпечує стабільне енергозбереження системи, оскільки головному процесору не потрібно постійно опитувати дані від датчика, але він може вийти з режиму сну лише за потреби видаляти важливі дані з FIFO. Цей буфер може працювати у чотирьох різних режимах: режим обходу, режим FIFO, режим потоку та режим потоку до FIFO. Кожен режим вибирається бітами FIFO_MODE.

Отримати дані з FIFO. Дані FIFO зчитуються через регістри OUT_X, OUT_Y і OUT_Z. Коли FIFO знаходиться в режимі Stream, Trigger або FIFO, операція читання регістрів OUT_X, OUT_Y або OUT_Z надає дані, що зберігаються в FIFO. Кожного разу, коли дані зчитуються з FIFO, дані X, Y і Z поміщаються в регістри OUT_X, OUT_Y і OUT_Z, і можна використовувати операції як одного читання, так і операції read_burst.

Цифрові інтерфейси. Доступ до регістрів, вбудованих у LIS3DSH, можна отримати як через послідовний інтерфейс I^2C, так і через SPI. Останнє програмне забезпечення може бути налаштоване для роботи в режимі 3- або 4-провідного інтерфейсу.

Послідовні інтерфейси відображаються на ті самі контакти. Щоб вибрати/використовувати інтерфейс I^2C, лінія CS повинна бути підключена до високого рівня (тобто підключена до Vdd_IO).

Послідовний інтерфейс I^2C. В LIS3DSH I^2C використовується для запису даних у регістри, вміст яких також можна прочитати.

Є два сигнали, пов'язані з шиною I^2C: послідовна лінія синхронізації (SCL) і послідовна лінія даних (SDA). Остання є дво направленою лінією, яка використовується для надсилання та отримання даних до/з інтерфейсу. Обидві лінії повинні бути підключені до Vdd_IO через зовнішній підтягуючий резистор. Коли інтерфейс вільний, обидві лінії мають високий рівень. Інтерфейс I^2C сумісний зі стандартами швидкого режиму (400 кГц) I^2C, а також із звичайним режимом.

Робота I^2C. Транзакція на шині починається через сигнал запуску (ST). Початкова умова визначається як перехід HIGH на LOW на лінії даних, у той час як лінія SCL

утримується HIGH. Після того, як це було передано головним приладом, інтерфейс вважається зайнятим. Наступний байт даних, переданий після умови запуску, містить адресу підлеглого пристрою в перших 7 бітах, а восьмий біт повідомляє, чи головний пристрій отримує дані від підлеглого пристрою чи передає дані підлеглому. Коли надсилається адреса, кожен пристрій у системі порівнює перші сім бітів після умови запуску зі своєю адресую. Якщо вони збігаються, пристрій вважає себе адресованим головним пристроєм.

Підпорядкована адреса (SAD), пов'язана з LIS3DSH, дорівнює 00111xxb, тоді як біти xx модифікуються виводом SEL/SDO, щоб змінити адресу пристрою. Якщо контакт SEL підключено до джерела напруги – адреса 0011101b (інакше адреса 0011110b, якщо контакт SEL підключено до землі). Це рішення дозволяє підключати та адресувати два різні акселерометри до тих самих ліній I^2C.

Передача даних із підтвердженням є обов'язковою. Передавач повинен звільнити лінію SDA під час імпульсу підтвердження. Потім приймач повинен підтягнути лінію даних LOW, щоб вона залишалася стабільно низькою протягом періоду HIGH тактового імпульсу підтвердження. Одержувач, якому було адресовано, зобов'язаний генерувати підтвердження після кожного байту отриманих даних.

I^2C, вбудований у LIS3DSH, працює як підлеглий пристрій, тому слід дотримуватися наступного протоколу. Після виконання умови запуску (ST) надсилається адреса підлеглого пристрою, після повернення підтвердження підлеглого пристрою (SAK) передається 8-бітна під адреса (SUB): 7 LSb представляє фактичну адресу регістра, а біт ADD_INC (CTRL_REG6) визначає приріст адреси.

Підлегла адреса доповнюється бітом читання/запису. Якщо біт дорівнює «1» (читання), умова повторного запуску (SR) повинна бути видана після двох байтів під адреси; якщо біт дорівнює «0» (запис), головний передає на підлеглий без зміни напрямку.

Дані передаються в байтовому форматі (DATA). Кожна передача даних містить 8 біт. Кількість байтів, що передаються за одну передачу, необмежена. Дані передаються спочатку зі старшим бітом (MSb). Якщо приймач не може отримати ще один повний байт даних, доки він не виконає якусь іншу функцію, то він може утримувати лінію синхронізації, SCL LOW, щоб змусити передавач перейти в стан очікування. Передача даних продовжується лише тоді, коли приймач готовий отримати ще один байт і звільнить лінію даних. Якщо підлеглий приймач не визнає адресу підлеглого (тобто він не може отримати, оскільки виконує певну функцію в режимі реального часу), підлеглий пристрій повинен залишити лінію даних ВИСОКИЙ. Тоді майстер може перервати передачу. Перехід від LOW до HIGH на лінії SDA, коли лінія SCL є HIGH, визначається як умова STOP. Кожна передача даних повинна бути припинена генерацією умови STOP (SP). У представленому форматі зв'язку MAK – підтвердження головного, а NMAK – підтвердження без головного.

Інтерфейс шини SPI. LIS3DSH SPI є веденою шиною. SPI дозволяє записувати та читати регістри пристрою. Послідовний інтерфейс взаємодіє із зовнішнім світом за допомогою 4 виводів: CS ,SPC, SDI та SDO.

CS – це активація послідовного порту, і вона контролюється головним SPI. Він знижується на початку передачі і повертається до високого в кінці. SPC – це таймер

послідовного порту, і ним керує головний пристрій SPI. Він зупиняється на високому рівні, коли CS є високим (немає передачі). SDI та SDO є відповідно вхідними та вихідними даними послідовного порту. Ці лінії проходять на спадаючому фронті SPC і повинні бути захоплені на наростаючому фронті SPC.

І команди регістру читання, і регістру запису виконуються за 16 тактових імпульсів або кратні 8 у разі читання/запису кількох байтів. Тривалість біта – це час між двома спадаючими фронтами SPC. Перший біт (біт 0) починається з першого спадаючого фронту SPC після спадаючого фронту CS, тоді як останній біт (біт 15, біт 23, ...) починається з останнього спадаючого фронту SPC безпосередньо перед наростаючим фронтом CS.

Біт 0: біт RW. Коли 0, дані DI(7:0) записуються в пристрій. Коли 1, дані DO(7:0) з пристрою зчитуються. В останньому випадку чіп керує SDO на початку біта 8.

Біт 1-7: адреса AD(6:0). Це поле адреси індексованого регістру.

Біт 8-15: дані DI(7:0) (режим запису). Це дані, які записуються на пристрій (спочатку MSb).

Біт 8-15: дані DO(7:0) (режим читання). Це дані, які зчитуються з пристрою (спочатку MSb).

У кількох командах читання/запису додаються додаткові блоки з 8 тактових періодів. Коли біт ADD_INC(CTRL_REG6) дорівнює «0», адреса, яка використовується для читання/запису даних, залишається незмінною для кожного блоку. Коли біт ADD_INC дорівнює «1», адреса, яка використовується для читання/запису даних, збільшується в кожному блоці.

Функції та поведінка SDI та SDO залишаються незмінними.

Отримані результати

Апаратне забезпечення системи побудовано на МК STM32F407VG і трьохосьовому цифровому акселерометрі LIS3DSH. Акселерометр встановлюється на об'єкті моніторингу і підключається по шині SPI до МК. Мікроконтролер збирає дані з давача та їх опрацьовує. Акселерометр використано як давач для вимірювання вібрацій. LIS3DSH – це мініатюрний трьохосьовий цифровий акселерометр фірми STMicroelectronics з малим енергоспоживанням. LIS3DSH відносять до класу ємнісних акселерометрів. Цей прилад є ідеальний для вимірювання динамічних прискорень, низькочастотних вібрацій, статичних прискорень гравітації, руху і кутів нахилу. Смуга пропускання характеризує здатність давача помічати зміни прискорення, що відбуваються з високою частотою (наприклад, вібрація з частотою 1000 Гц). На цю характеристику впливає частота дискретизації вбудованого АЦП акселерометра, яка повинна бути як мінімум в два рази більше смуги пропускання.

В LIS3DSH максимум виміру – до 16 біт при вимірюванні прискорення ±16 g з постійною чутливістю – 4 mg/LSB у всіх діапазонах вимірювання g. Акселерометр має функції виявлення одиночного та подвійного поштовхів, контролю активності/не активності, функцію виявлення вільного падіння; є можливість гнучкого задання режимів переривання з вибором будь-якого (з 2-х можливих) виводів переривань; зміна діапазону вимірювання, як і смуги пропускання, вибирається подачею відповідної команди. Така

вбудована система постійно відслідковує вібрацію, наприклад, працюючого верстату, в режимі реального часу і аналізує параметри вібрації. Система видає попереджувальні повідомлення або зупиняє верстат у випадку виникнення неприпустимих вібрацій – запобігаючи таким чином можливі поломки і аварії. Система також має надавати достатню інформацію користувачу, щоб він зміг розпізнати можливі проблеми і прийняти профілактичні заходи на основі аналізу спектру вібрації характерного для конкретного виробу.

Система в змозі своєчасно попередити про ймовірну несправність, що дає можливість користувачу здійснити своєчасні профілактичні заходи.

Обговорення

Моніторинг сумарної вібрації має здійснюватися як в часовому, так і в частотному діапазонах. В часовому діапазоні система безперервно відслідковує стан виробу в режимі реального часу, на основі широкосмугового вимірювання віброшвидкостей, віброприскорень і вібропереміщень.

В частотному діапазоні може бути встановлений ряд границь попереджуючих і аварійних сигналів для різних частотних діапазонів. Ці діапазони покривають весь спектр вібрації і дають змогу провести аналіз рівня вібрацій в контрольованій області на предмет перевищення допустимих меж по всьому частотному спектрі.

Розроблений алгоритм функціонування системи включає такі кроки:

Крок 1. Ініціалізація акселерометра LIS3DSH на шині SPI.

Крок 2. Зчитування значення з регістра WHO_AM_I і перевірка номера акселерометра.

Крок 3. Налаштування акселерометра LIS3DSH.

Крок 4. Встановлення значень дискретизації та режиму переривань.

Крок 5. Встановлення діапазону вимірювання та розподільної здатності.

Крок 6. Старт вимірювання.

Крок 7. Запис значень у буфер по перериванню та очікування заповнення буферу .

Крок 8. Після заповнення буферу використання FIFO для переведення ряду у частотне представлення.

Крок 9. Передача за допомогою USB.

Крок 10. Після передачі початок виконування з кроку 6.

Розроблено наступні функції:

- void Accel_Ini(void) – функція ініціалізації датчика;
- static void Error (void) – функція-обробник помилки;
- Accel IO_Read(uintl6_t DeviceAddr. uint8_t RegisterAddr) – функція читання даних за адресами датчика та регістру;
- void Accel_IO_Write(uint16_t DeviceAddr, uint8_t RegisterAddr, uint8_t Value) – функція запису даних за адресами датчика та регістру;
- uint8_t Accel_ReadID(void) – функція читання адреси мікросхеми;
- void Accel_AccFilterConfig(uint8_t FilterStruct) – функція підключення фільтру;
- void AccInit(uintl6_t InitStruct) – функція ініціалізації налаштувань;

- void Accel_GetXYZ(intl6_t* pData) – функція зчитування показників аксельрометра;
- static uint8_t SPIx_WriteRead(uint8_t Byte) – функція для прийому та передачі даних по інтерфейсу SPI;
- AccInit(ctrl) – функцію основної ініціалізації акселерометра.
З DATASHEET отримуємо константи для налаштування системи:
- LIS3DSH_DATARATE_100: значення 0×60: даним значенням ми включимо біти ODR1 та ODR2, тим самим налаштуємо швидкість передачі даних 100 Гц.
- LIS3DSH_XYZ ENABLE: значення 0×07: включимо біти всіх осей, тим самим визначаємо режим роботи датчика, при якому він зчитуватиме дані всіх трьох осей (x, y та z).
- LIS3DSH_SERIALINTERFACE_4WIRE: значення 0×00: цей біт відповідає за включення режиму інтерфейсної шини. Залишаємо 0, тим самим ми включимо 4-провідний SPI.
- LIS3DSH_SELFTEST_NORMAL: значення 0×00: тут ми позначимо, що не включатимемо біти 1 і 2 (ST1 і ST2), тим самим включимо режим само тестування (звичайний режим).
- LIS3DSH_FULLSCALE_2: значення 0×00: біти FSCALE ми також не включаємо, тим самим визначаємо режим роботи акселерометра, при якому він вимірює показання по всіх осях в межах від -2G до +2G.
- LIS3DSH_FILTER_BW800: значення 0×00: біти ширини смуги пропускання фільтра згладжування. Ми їх не встановлюємо, тому ширина смуги пропускання у нас буде 800 Гц.
- LIS3DSH_SENSITIVITY_0_06G. Тут ми налаштовуємо чутливість датчика до 0.06 mg.

Зчитування молодших та старших байтів 16-бітних показань, виміряних за кожною з трьох осей, виконується наступним чином:

- Accel_IO_Read(&ecrtl, LIS3DSH_CTRL_REGS5_ADDR, 1);
- Accel_IO_Read((uint$_t*)&buffer[0], LIS3DSH_OUT_X_L_ADDR, 1);
- Accel_IO_Read((uint$_t*)&buffer[1], LIS3DSH_OUT_X_H_ADDR, 1);
- Accel_IO_Read((uint$_t*)&buffer[2], LIS3DSH_OUT_Y_L_ADDR, 1);
- Accel_IO_Read((uint$_t*)&buffer[3], LIS3DSH_OUT_Y H_ADDR, 1);
- Accel_IO_Read((uint$_t*)&buffer[4], LIS3IDSH_OUT_Z_L_ADDR, 1);
- Accel_IO_Read((uint8_t*)&buffer[5], LIS3DSH_OUT_Z_H_ADDR, 1).

Висновки

Спроектовано та реалізовано фізичну модель системи, яка включає мікроконтролер, трьохосьовий цифровий акселерометр LIS3DSH, яка характеризується високими економічними показниками технічного рішення.

Розроблено та реалізовано спеціалізоване ПЗ системи, яке включає драйвер для налаштування, збору і опрацювання даних з акселерометра та відповідне ПЗ для побудови графіків сигналів віброприскорення в часовій і частотній областях. Побудоване

ПЗ дає змогу реалізувати широкі функціональні можливості та є вільно використовуваним.

Побудована система дає можливість проводити аналіз параметрів вібрації з метою передбачення і запобігання можливих аварій, зменшуючи таким чином затрати, які пов'язані з виходом із ладу дорогих деталей і вузлів.

Конфлікти інтересів

Автори заявили, що конфлікту інтересів немає.

Список джерел інформації:

Аврунін, О. Г. та ін. (2015). Мікропроцесори в інформаційно-вимірювальних системах: Навчальний посібник. Харків. [Avrunin, O. G. et al. (2015). *Microprocessors in the information and measurement system: Textbook*. Kharkiv. (In Ukrainian)]. http://openarchive.nure.ua/handle/document/5291

Аврунін, О. Г. та ін. (2019). Основи реєстрації та аналізу біосигналів: Навчальний посібник. Харків. [Avrunin, O. G. et al. (2019). *Fundamentals of registration and analysis of biosignatures: Textbook*. Kharkiv. (In Ukrainian)]. https://doi.org/10.30837/978-966-659-257-9

Зубков, О. В. та ін. (2022). Програмування мікроконтролерів STM32 в середовищі STM32CubeIDE в прикладах і задачах: Навчальний посібник. Дніпро. [Zubkov, O. V. et al. (2022). *Programming STM32 microcontrollers in the STM32CubeIDE environment in examples and tasks: Textbook*. Dnipro. (In Ukrainian)]

Леонідов, В. І., Семенець, В. В. (2019). Особливості амплітудно-часової структури перешкод у системах акустичного зондування атмосфери // Радіотехніка: Всеукраїнський міждисциплінарний науково-технічний збірник. – 2019. – Вип. 197. – С. 93-99. [Leonidov, V. I., & Semenets, V. V. (2019). Features of the amplitude-time structure of interference in acoustic sensing systems of the atmosphere. *Radio Engineering: All-Ukrainian Interdisciplinary Scientific and Technical Collection*, *197*, 93-99. (In Ukrainian)]

Семенець, В. В., Леонідов, В. І. Аналіз частотно-часової структури акустичних шумів малих автоматичних аеросистем // Радіотехніка: Всеукраїнський міждисциплінарний науково-технічний збірник. – 2020. – Вип. 202. – С. 147-152. [Semenets, V. V., & Leonidov, V. I. (2020a). Analysis of the frequency-time structure of acoustic noise of small automatic air systems. *Radio Engineering: All-Ukrainian Interdisciplinary Scientific and Technical Collection*, *202*, 147-152. (In Ukrainian)]. https://doi.org/10.30837/rt.2020.3.202.15

Семенець, В. В., Леонідов, В. І. Дослідження амплітудно-частотних характеристик біологічних тканин // Радіотехніка: Всеукраїнський міждисциплінарний науково-технічний збірник. – 2020. – Вип. 203. – С. 186-190. [Semenets, V. V., & Leonidov, V. I. (2020b). Investigation of the amplitude-frequency characteristics of biological tissues. *Radio Engineering: All-Ukrainian Interdisciplinary Scientific and Technical Collection*, *203*, 186-190. (In Ukrainian)]. https://doi.org/10.30837/rt.2020.4.203.20

Семенець, В. В., Леонідов, В. І. (2023). Використання мікроконтролера stm32f407vg для дослідження амплітудно-частотних характеристик біологічних тканин // Радіотехніка. – 2023. – Вип. 214. – С. 93-99. [Semenets, V. V., & Leonidov, V. I. (2023). Using the stm32f407vg microcontroller to study the amplitude-frequency characteristics of biological tissues. *Radio Engineering*, *214*, 93-99. (In Ukrainian)]

Albarbar, A. et al. (2008). Suitability of MEMS accelerometers for condition monitoring: An experimental study. *Sensors*, *8*(2), 784-799. https://doi.org/10.3390/s8020784

Chaudary, S. B., Sengupta, M., & Mukherjee, K. (2014). Vibration monitoring of rotating machines using MEMS accelerometer. *Intern. Journal of Sceintific Engineering and Research*, *2*(9), 5-11.

Goyal, D., & Pabla, B. S. (2016). Development of non-contact structural health monitoring system for machine tools. *Journal of Applied Research and Technology*, *14*(4), 245-258. https://doi.org/10.1016/ j.jart.2016.06.003

Hjort, A., & Holmberg, M. (2015). *Measuring mechanical vibrations using an Arduino as a slave I/O to an EPICS control system*. Uppsala University.

Leonidov, V. I. (2014). Analysis of the models and structure of echo signals of the atmospheric acoustic sounding. *Telecommunications and Radio Engineering*, *73*(16), 1497-1502.

Milovančević, M. et al. (2014). Embedded systems for vibration monitoring. *Facta Universitatis. Series: Mechanical Engineering*, *12*(2). 171-181.

Raţă, G., & Raţă, M. (2014). System for Monitoring and Analysis of Vibrations at Electric Motors. Intern. *Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, *XXI*(3), 97-104.

Rocha, S. M. S. et al. (2016). Method to measure displacement and velocity from acceleration signals. *Intern. Journal of Engineering Research and Applications*, *6*(6), 52-59.

Sekiya, H., Kimura, K., & Miki C. (2016). Technique for determining bridge displacement response using. *MEMS Accelerometers*, *16*(2), 257. https://doi.org/10.3390/s16020257

Semenetz, V. V., & Leonidov, V. I. (2019). Model-structural analysis of combination interference in the problems acoustic sounding of the atmosphere. *Telecommunications and Radio Engineering*, *78*(12), 1078-1095. https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v78.i12.60

DOI 10.47451/inn2024-05-04

Kostiantyn O. Buravchenko[12]

Analyzing the methods of protection against First-Person View drone [7]

Abstract: The rapid growth of the drone industry has exceeded regulations for secure and safe drone operation, which makes them representative means of illegal and destructive terrors and crimes. With the introduction of drones into civilian technology, drones are now gaining attention as a threat to safety and security, which leverages the emergence of anti-drone (or counter-drone) technologies. Anti-drone systems are used to defend against drone accidents or terrorism. Currently, anti-drone systems preferably adapt military components to reach the confirmatory destruction of drones. However, several difficulties apply when locating military anti-drone systems in civilian areas. Military counter-drone systems often use jamming systems to attack the target drone control channel. The jammer generates an extremely high amplitude of radio signal in the target frequency band to prevent communication. However, for non-military applications, RF jamming to protect against high-speed drone risks potentially paralyzes existing wireless network systems, such as mobile access or wireless sensor networks. Thus, most national regulations prevent non-military use of jamming systems, and therefore civilian anti-drone systems should investigate other approaches to prevent illegal or unauthorized drones. Previously, radar was considered a less effective method for detecting drones due to the rigid nature of radar cross-sections (RCS). However, advancements in radar technology have now made it possible to detect a wide range of drones with a satisfactory level of accuracy. As a result, radar is increasingly being utilized for long-range drone detection. Despite this progress, the deployment of radar technology is still subject to national regulations, including RF licensing policies. The challenges and significant expenses associated with setting up drone detection radars have led civilian counter-drone initiatives to explore alternative detection techniques, such as optical (vision-based) systems and RF signal detection methods. Civilian approaches to neutralizing drones typically involve non-lethal tactics such as system takeover or net capture. These tactics serve as a technical counterbalance to the drones' inherent safety and stability features, and there is a growing demand for research into both aspects. To make significant progress in this competitive field, it's crucial to systematically enhance anti-drone systems. This involves designing them to counteract drones' defensive maneuvers by adaptively countering their evasion techniques. This requires a thorough assessment of the latest research in drone security and safety, aiming to improve upon traditional drone functionalities. The author conducts an extensive analysis of anti-drone measures. In light of recent drone-related disturbances, we focus on identifying the specific needs of anti-drone systems. The study proposed a new FPV protection method, reducing equipment weight, cost, and autonomy.

Keywords: anti-drone systems, drone detection, jamming technique, software-defined radio drone detection.

Introduction

The rapid growth of the drone industry has exceeded regulations for secure and safe drone operation, which makes them representative means of illegal and destructive terrors and crimes. With the introduction of drones into civilian technology, drones are now gaining attention as a threat to safety and security, which leverages the emergence of anti-drone (or counter-drone) technologies. Anti-drone systems are used to defend against drone accidents or terrorism. Currently, anti-drone systems preferably adapt military components to reach the confirmatory

destruction of drones. However, several difficulties apply when locating military anti-drone systems in civilian areas. Military counter-drone systems often use jamming systems to attack the target drone control channel. The jammer generates an extremely high amplitude of radio signal in the target frequency band to prevent communication. However, for non-military applications, RF jamming to protect against high-speed drones potentially paralyzes existing wireless network systems, such as mobile access or wireless sensor networks. Thus, most national regulations prevent non-military use of jamming systems, and therefore civilian anti-drone systems should investigate other approaches to prevent illegal or unauthorized drones. Previously, radar was considered a less effective method for detecting drones due to the rigid nature of radar cross-sections (RCS). However, advancements in radar technology have now made it possible to detect a wide range of drones with a satisfactory level of accuracy. As a result, radar is increasingly being utilized for long-range drone detection. Despite this progress, the deployment of radar technology is still subject to national regulations, including RF licensing policies. The challenges and significant expenses associated with setting up drone detection radars have led civilian counter-drone initiatives to explore alternative detection techniques, such as optical (vision-based) systems and RF signal detection methods. Civilian approaches to neutralizing drones typically involve non-lethal tactics such as system takeover or net capture. These tactics serve as a technical counterbalance to the drones' inherent safety and stability features, and there is a growing demand for research into both aspects. To make significant progress in this competitive field, it is crucial to systematically enhance anti-drone systems. This involves designing them to counteract drones' defensive maneuvers by adaptively countering their evasion techniques. This requires a thorough assessment of the latest research in drone security and safety, aiming to improve upon traditional drone functionalities.

Currently, the market offers a wide variety of drones for purchase (*Chadwick, 2017*; *Counter drone system, 2017*; *FCC…, 2011*; *Floreano & Wood, 2015*; *Mazar, 2016*; *Nuss, 2017*; *Ritchie et al., 2017*; *Shapir, 2013*; *UK…, 2006*; *Wellig, 2018*). Among these, First-Person View (FPV) drones are sometimes utilized for illicit activities. The subsequent sections will discuss drone detection and various protection mechanisms. An analysis of the pros and cons of numerous strategies will be provided. The primary emphasis will be on personal protection systems, which are expected to be lighter, more cost-effective, and offer greater autonomy compared to their stationary counterparts.

The results of the study

Drone Detection

Drone detection systems (*Aker & Kalkan, 2017*; *Andraši et al., 2017*; *Ding et al., 2018*; *Drone detection systems, 2017*; *Guvenc et al., 2018*; *Saqib et al., 2017*; *Spynel Series, 2020*) utilize a range of characteristics exhibited by drones in flight. Typically, drones generate thermal emissions, acoustic signals, and radio frequency (RF) signals for communication with their controllers. These systems gather data from sensors to verify if drones are present in the vicinity. Based on the collected data, they can pinpoint the probable locations of the drones.

The table in the Appendix presents a classification of drone detection methods according to the type of sensing technology used (*Table 1*). Subsequent subsections delve into each detection approach, examining their fundamental operations and inherent technical constraints.

(A) Thermal Detection

Key drone components like motors, batteries, and electronics emit heat detectable by thermal imaging devices. Research has focused on identifying drones by these thermal footprints. For instance, Andraši et al. (*2017*) suggested a method to spot drones by the heat they emit mid-flight. The Spynel product offers 360° monitoring by detecting infrared radiation from drones.

Thermal detection stands out for its resilience to weather conditions, ability to identify targets, and cost-effectiveness compared to radar systems. However, its effective range is limited to about 51 meters, posing challenges in refining detection detail and improving thermal camera resolution.

(B) RF Scanner

Drones under remote control communicate via RF signals, transmitting sensor data and flight instructions. RF scanners intercept these signals to confirm drone presence. Basic RF detection relies on signal intelligence (SIGINT) and communication intelligence (COMINT). Al-Sa'd et al. developed a deep learning system to classify drone types and flight patterns (*Al-Sa'd et al., 2019*; *RF-300…, 2020*; *The UAS…, 2020*). While more drone types can reduce classification precision, the overall detection rate remains high. DJI's Aeroscope system specializes in capturing control signals from DJI drones.

The primary limitation of RF scanning is its inability to detect drones that do not consistently emit RF signals, such as those on autonomous flights. Additionally, drones with unfamiliar control protocols or operating on different frequency bands pose detection challenges. Despite these drawbacks, RF scanners are widely used for their extended range and affordability, often in conjunction with other detection methods.

(C) Radar-Based Detection

Radar systems identify physical objects and assess their form, distance, velocity, and trajectory by analyzing the radio signals they reflect. Unlike RF scanners, which decode the signal itself, radar systems calculate the object's position by measuring the time it takes for the reflected signal to return. Continuous-wave radar is distinct in its ability to gauge the velocity of a target by utilizing both range data and Doppler shift information.

(D) Optical Camera Detection

Optical camera detection, akin to thermal detection, has been extensively researched for its application in anti-drone systems. Researchers like Sapkota et al. (*2016*) have utilized features such as the histogram of oriented gradients to identify drones in images, while Jung et al. (*2018*) have developed real-time video surveillance systems capable of monitoring expansive three-dimensional areas. Optical camera-based drone detection systems are notably cost-effective and subject to fewer regulatory constraints, facilitating the implementation of detailed tracking through widespread deployment. However, they do face limitations such as limited range, dependency on clear weather conditions, and obstruction by physical barriers, necessitating their integration with other sensor systems. Military-grade electro-optical/infrared (EO/IR) systems, which combine optical and infrared sensors, are commonly used for drone detection.

(E) Acoustic Signal Detection

Acoustic signal detection leverages the sound emitted by drone motors, a distinctive characteristic of drones. Innovations by Kim et al. (*2017*) in machine learning using plotted

image analysis and k-nearest neighbor' algorithms have yielded accuracies of 83% and 61%, respectively. Despite these advancements, challenges such as limited detection range and the complexities of measuring direction and tracking drones persist.

Figure 4 illustrates a comparison of various drone detection components, highlighting their functional capabilities and respective detection ranges. It shows that radar systems boast a significant minimum detection range due to their fundamental operating principles. Many providers are now offering hybrid drone detection systems that combine different technologies to enhance reliability, precision, and ease of installation. Some systems are fully automated, integrating detection and countermeasures like targeting and jamming, although the use of jammers is heavily restricted in most jurisdictions. Consequently, non-military drone countermeasure systems must carefully consider a broad spectrum of factors, including jamming restrictions, compatibility with existing radar setups, and drone neutralization methods.

Drone Neutralization

Drone neutralization is a critical aspect of anti-drone systems, aimed at curtailing the movement of hostile drones. These neutralization techniques are broadly categorized into destructive and non-destructive types. This categorization is significant as it reflects not only the technical challenges involved but also compliance with civil regulations. Given that the destruction of unauthorized drones is outlawed in numerous nations, non-destructive methods are often favored by public institutions. Our focus is primarily on non-destructive strategies to ensure the effective deployment of anti-drone systems even in dire situations.

Typically, definitive methods like jamming are utilized to avert additional emergencies such as unintended landings or crashes and operational malfunctions. While jamming is both definitive and non-destructive, it does induce a temporary halt in communications within the affected vicinity. Consequently, modern tactics are designed to selectively disrupt individual drones based on their operational characteristics. A variety of prevalent drone neutralization solutions are enumerated in Table 2 (*Appendix*), with each method being elaborated upon in subsequent sections.

A) Drone Hijacking

In the realm of anti-drone measures, the terms "hijacking" and "spoofing" are often mistakenly used as synonyms. To enhance clarity, we distinguish between the two in this document. "Hijacking" refers to the act of an anti-drone operator taking over control of a target drone by any means necessary. In contrast, "spoofing" involves creating a false signal to disrupt the intended movement of the drone as directed by its original controller. The key distinction lies in the aftermath of the attack: post-hijacking, the original controller loses all control over the drone, whereas spoofed signals may lead to drone hijacking.

The rationale behind these definitions' centers on the imperative of control deprivation. Seizing control from the original operator may entail tactics like jamming or hacking before the anti-drone system gains actual control. While hijacking presents both technical and regulatory challenges, it offers greater robustness compared to spoofing once control is successfully usurped. Nonetheless, both methods warrant thorough investigation for assured defense.

Drones typically maintain a secure, paired connection with their operator, and hijacking aims to sever this link. Trujano et al. (*2016*) introduced a system that disrupts the pairing with a

jamming signal, and then swiftly reconnects the drone to the attacker's controller. Donatti et al. (*2016*) developed a hijacking system that amplifies the RF signal to take control. They explored drone control packet decoding and demonstrated their system with a working model. Hijacking is preferable for safely capturing or landing drones and aids in subsequent inquiries. However, challenges such as expanding coverage and adapting to various measures like autonomous flight and drone communication protocols remain.

(B) Drone Spoofing

Spoofing involves manipulating drone signals to either commandeer the drone or alter its flight path. Drones typically navigate using the operator's RF signal for location and altitude, while relying on sensor data for their current status. GPS signals are crucial for determining a drone's position, whether in manual or autonomous mode. Noh et al. (*2019*) devised a system that emits counterfeit GPS signals, tricking the drone's GPS receiver and causing it to miscalculate its location. This system aims to covertly redirect the drone, particularly when it enters GPS failsafe mode. Simple spoofing methods can exploit various sensor types and may be used in tandem. While deceiving drone sensors is feasible through numerous strategies, the lack of additional safety protocols for certain areas can lead to incidents like crash landings due to loss of control by the drone operator.

(C) Geofencing

Geofencing-based drone neutralization systems prevent drones from entering designated areas. The most common implementation allows drones to autonomously decide whether to land based on their current location (*Hermand et al., 2019*). There are two main types of geofence technology: dynamic geofences, which disseminate information about no-fly zones, and static geofences, which rely on a repository of flight permission data accessible to drones. Most commercial drones equipped with standard flight control stacks, such as PX4 and ArduPilot, feature built-in auto-landing for safety (*ArduPilot Documentation, 2016*; *Meier et al., 2015*). This effectively deters hobby drones from unauthorized areas but is ineffective against drones that have been modified to bypass these systems. Since geofencing depends on the drone's internal navigation, malfunctioning drones could still breach secure zones. Further research into proactive geofencing is needed to overcome these issues, potentially incorporating spoofing and hijacking methods.

(D) Drone Jamming

Drone jamming incapacitates the communication link between a drone and its controller by flooding the frequency range with overpowering RF signals. These signals, often empty packets, disrupt the drone's ability to receive legitimate commands, rendering it uncontrollable. Jamming technologies are diverse, tailored to specific goals and coverage areas, and can be categorized as follows:

- Directional vs. Omnidirectional: Directional jamming targets a specific path, while omnidirectional jamming affects all directions.
- Stationary vs. Mobile: Stationary jamming is fixed to a location like a base station, whereas mobile jamming is deployed from portable units, such as handheld devices or vehicle mounts.
- Narrow vs. Wide Bandwidth: The bandwidth of the jamming signal can be narrow, affecting a specific frequency, or wide, covering a broader spectrum.

- GPS vs. Communication Jamming: GPS jamming disrupts a drone's navigation systems, while communication jamming interrupts the control signals from the operator.

Some jammers target specific network layers, but as drones often use non-standard communication protocols, these methods are not detailed here. Jamming is favored in anti-drone systems for its simplicity, reliability, and broad range. However, due to its potential to interfere with other electromagnetic communications, including TV, telecommunication, and air traffic control, its use is heavily regulated or prohibited in many countries.

(E) Killer Drones

"Killer drones" refer to legal drones designed to pursue and physically disable target drones. Unlike drone capture methods, killer drones aim to make contact and cause damage. They require swift, accurate decision-making, precise path estimation, and high durability. Although still in early development, swarming killer drones with collective intelligence and precise tracking could become an effective multi-target neutralization strategy. Regulatory constraints similar to those on jamming and radar technologies apply, but advancements in drone management systems could ease these restrictions.

(F) Drone Capture

Drone capture methods involve physically restraining a target drone using tools like nets. Capture systems are bifurcated into:

- Terrestrial Capture: Operated by humans or vehicles, these systems offer a variety of net sizes and capacities.
- Aerial Capture: Mounted on defender drones, these systems are limited by the carrying capacity but offer greater precision and speed.

The choice between terrestrial and aerial capture depends on various factors, including device coverage, cost-performance balance, and the drones' load-bearing capacity. Both methods have their merits and should be further explored. As drone neutralization techniques leverage the operational characteristics of drones, they can trigger unintended behaviors. Therefore, a comprehensive approach that combines multiple neutralization strategies is essential to increase success rates. It is also crucial to keep pace with drone safety technologies like anti-spoofing and anti-hijacking. Anti-drone systems must strategically plan neutralizations, taking into account the effective range and anticipated flight paths of target drones.

Summary

Drone Detection: The integration of multiple detection systems has led to a moderate success rate in drone detection. Despite limitations like range and weather dependency, the industry is moving towards hybrid systems for better efficiency. We have provided guidelines for setting up these systems, emphasizing the need for a strategic analysis of the defense area and the importance of a cohesive drone identification network for effective tracking and neutralization.

Drone Identification: Still in its nascent stages, drone identification systems are crucial for regulatory compliance and are expected to become more significant than detection systems alone. The potential for attaching active transponders to drones is being explored, which will be vital for managing airspace, especially with the rise of the Personal Air Vehicle (PAV) industry.

We have categorized neutralization techniques into destructive and non-destructive, noting that non-destructive methods may become obsolete due to advancements in drone security. While jamming is prevalent, its aggressive nature and the development of anti-jamming technologies call for alternative strategies. Geofencing could mitigate risks from authorized drones, but physical defenses may be necessary for deliberate threats.

Anti-drone systems must be multifaceted, incorporating various neutralization techniques to ensure robust defense. Our guidelines provide a framework for assessing drone threats and formulating safe neutralization strategies. As the field evolves, the design of anti-drone systems must adapt to address the challenges posed by sophisticated drones without relying on military-grade weaponry. Our survey aims to contribute to the expansion of drone safety zones and the advancement of anti-drone technologies.

In the study presented, we introduce an innovative approach to enhance the efficiency of anti-drone jamming systems for individual use. The system is composed of two main components: a drone detection subsystem and a jamming subsystem, as illustrated in the accompanying block diagram (*Figure 1*). Traditional non-stationary jamming systems are plagued by significant drawbacks, such as excessive weight and the tendency to jam across broad frequency bands. Our solution to mitigate these issues involves the utilization of a single amplifier in conjunction with multiple antennas, replacing the need for numerous individual amplifier units. This amplifier is designed to accommodate various commonly utilized frequencies and to switch between different narrow-band antennas. The key benefit of this system lies in the employment of a microprocessor to generate a diverse range of frequencies.

For the identification of commonly employed frequencies and amplitudes, we employ the technique of software-defined radio (SDR). The SDR module is tasked with receiving signals across a wide frequency band and pinpointing the peak signals. Upon detection of a drone's control frequency, the microprocessor module is triggered to initiate jamming on that specific frequency.

This proposed methodology significantly boosts the power output of the module while simultaneously reducing the overall weight of the device. The need for multiple amplifiers is eliminated, as we now require only a solitary amplifier capable of adjusting its frequency range to suit various needs.

Discussion

The article in question sets out to conduct a thorough examination of First-Person View (FPV) drone protection systems. It delves into the merits and demerits of various methodologies. The jamming system we propose is designed to address and rectify certain shortcomings present in existing systems. Future research endeavors could potentially explore the operational range, energy efficiency, and economic feasibility of such systems.

Conclusion

It is worth noting that the proliferation of drones, particularly FPV models, presents both opportunities and challenges. While they offer innovative applications, their potential misuse for criminal activities cannot be ignored. The exploration of drone detection and protection mechanisms is therefore crucial. The strategies discussed highlight a range of techniques, each

with its own set of advantages and limitations. Emphasizing personal protection, the ideal system would combine reduced weight, lower costs, and enhanced autonomy, distinguishing itself from more cumbersome stationary systems. Such advancements promise to bolster security measures while maintaining accessibility and ease of use for individuals seeking to safeguard their privacy and safety in an increasingly drone-populated airspace.

Conflicts of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

References:

143 flights cancelled at Frankfurt Airport due to drone sightings. (2019, May). *The Local*. https://www.thelocal.de/20190509/disruption-after-frankfurt-airport-halts-flights-due-to-drone-sighting

Aker, C., & Kalkan, S. (2017). Using deep networks for drone detection. *14th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance (AVSS)*, 1-6.

Al-Sa'd, M. F. et al. (2019). RF-based drone detection and identification using deep learning approaches: An initiative towards a large open-source drone database. *Future Generation Computer Systems*, *100*, 86-97.

ArduPilot Documentation. (2016). *ArduPilot*. https://ardupilot.org/ardupilot/

Andraši, P. et al. (2017). Night-time detection of UAVs using a thermal infrared camera. *Transportation Research Procedia*, *28*, 183-190.

Chadwick, A. (2017). Micro-drone detection using software-defined 3G passive radar. *Proceedings of the 18th International Radar Symposium (IRS)*, 1-6.

Counter drone system. (2017, September). *Google Patents*. https://patents.google.com/patent/US20170261613A1/en

Ding, G. et al. (2018). An amateur drone surveillance system based on the cognitive Internet of Things. *IEEE Communications Magazine*, *56*(1), 29-35.

Donatti, M. M. et al. (2016). Radiofrequency spoofing system to take over law-breaking drones. *2016 IEEE MTT-S Latin America Microwave Conference (LAMC)*, 1-3.

Drone detection systems. (2017, March). *Google Patents*. https://patents.google.com/patent/US20170092138A1/en

Floreano, D., & Wood, R. J. (2015). Science, technology, and the future of small autonomous drones. *Nature*, *521*(7553), 460-466.

FCC Enforcement Advisory Cell jammers GPS jammers and other jamming devices. (2011, February). Washington.

Gatwick Airport drone attack: Police have no lines inquiry. (2019, September 27). *BBC News*. https://www.bbc.com/news/uk-england-sussex-49846450

Gibbons-Neff, T. (2016, October 11). ISIS used an armed drone to kill two Kurdish fighters and wound French troops report says. *The Washington Post*. https://www.washingtonpost.com/news/checkpoint/wp/2016/10/11/isis-used-an-armed-drone-to-kill-two-kurdish-fighters-and-wound-french-troops-report-says/

Guvenc, I. et al. (2018). Detection tracking and interdiction for amateur drones. *IEEE Communications Magazine*, *56*(4), 75-81.

Hermand, E. et al. (2019). Drone Geofencing in Constrained Environments. *1st ID2Move Belgian Academic Seminar on Autonomous System*.

Hubbard, B. et al. (2019, September 14). Two major Saudi oil installations hit by drone strike and US blames Iran. *The New York Times*. https://www.nytimes.com/2019/09/14/world/middleeast/saudi-arabia-refineries-drone-attack.html

Jung, J. et al. (2018). AVSS: Airborne video surveillance system. *Sensors*, *18*(6), 1939.

Kim, J. et al. (2017). Real-time UAV sound detection and analysis system. *2017 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, 1-5.

Mazar, H. (2016). *Radio spectrum management: Policies regulations and techniques*. Hoboken.

Massachusetts man charged with plotting attack on Pentagon and U.S. capitol and Attempting to Provide Material Support to a Foreign Terrorist Organization. (2011). *FBI Archives*. https://archives.fbi.gov/archives/boston/press-releases/2011/massachusetts-man-charged-with-plotting-attack-on-pentagon-and-u.s.-capitol-and-attempting-to-provide-material-support-to-a-foreign-terrorist-organization

Meier, L. et al. (2015). PX4: A node-based multithreaded open-source robotics framework for deeply embedded platforms. *2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 6235-6240.

Nguyen, P. et al. (2016). Investigating cost-effective RF-based detection of drones. *2nd Workshop Micro Aerial Vehicle Network Systems and Applications Civilian Use*, 17-13.

Noh, J. et al. (2019). Tractor beam: Safe-hijacking of consumer drones with adaptive GPS spoofing. *ACM Transactions on Privacy and Security*, *22*(2), 1-26.

Nuss, B. et al. (2017). MIMO OFDM radar system for drone detection. *Proceedings of the 18th International Radar Symposium (IRS)*, 1-9.

RF-300 Data Sheet. (2020). *Dedrone*. https://assets.website-files.com/58fa92311759990d60953cd2/5d1e14bc96a76a015d193225_dedrone-rf-300-data-sheet-en.pdf

Ripley, C. W. (2015, April 22). A drone with radioactive material found on the Japanese Prime Minister's roof. *CNN*. https://edition.cnn.com/2015/04/22/asia/japan-prime-minister-rooftop-drone/index.html

Ritchie, M. et al. (2017). Micro UAV crime prevention: Can we help Princess Leia? In *Crime Prevention 21st Century* (pp. 359-376). New York: Springer.

UK Public General Acts Wireless Telegraphy ACT 2006. (2006). London.

Sapkota, K. R. et al. (2016). Vision-based Unmanned Aerial Vehicle detection and tracking for sense and avoid systems. *2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 1556-1561.

Saqib, M. et al. (2017). A study on detecting drones using deep convolutional neural networks. *14th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance (AVSS)*, 1-5.

Shapir, Y. (2013). Lessons from the Iron Dome. *Military Strategic Affairs*, *5*(1), 81-94.

Spynel Series. (2020, July). *HGH Infrared Systems*. https://www.messe-essen-digitalmedia.de/uploads/E302/pdf/company/hgh-infrared-systems-f9d3f-info.pdf

Syria war: Russia thwarts drone attack on Hmeimim Airbase. (2018, January). *BBC News*. https://www.bbc.com/news/world-europe-42595184

The UAS UAV drone threat vector. (2020, July). *CRFS*. https://pages.crfs.com/hubfs/CR-002800-GD-2-DroneDefense%20Brochure.pdf

Trujano, F. et al. (2016). *Security analysis of DJI phantom 3 standard*. Cambridge.

Venezuela President Maduro survives a drone assassination attempt. (2018, August). *BBC News*. https://www.bbc.com/news/world-latin-america-45073385

Wagoner, A. R. et al. (2017). Towards a vision-based targeting system for counter unmanned aerial systems (CUAS). *IEEE International Conference of Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA)*, 237-242.

Wellig, P. et al. (2018). Radar systems and challenges for C-UAV. *Proceedings of the 19th International Radar Symposium (IRS)*, 1-8.

Appendix

Table 1. Drone Detection Technologies

Feature	Sensing devices	Advantages	Disadvantages	Detection range	References
Heat	Infrared camera	• Less affected by weather • Long range	• Low accuracy	1–15 km	[22]–[27]
RF signal	RF receiver	• Obstacle-free • Detect the drone operator	• Unable to detect • Autonomous flight	3–50 km	[12], [28]–[33]
Physical object	Radar	• Less affected by weather • Long range	• High expense • Regulations on RF license • Vulnerable to obstacles	1–20 km	[34]–[40]
Visibility	Optical camera	• Low expense • Miniaturized • Identification	• Highly affected by the weather • Vulnerable to obstacles	0.5–3 km	[41]–[46]
Acoustic signal	Acoustic receiver	• Compatible with RF based sensors • Miniaturized	• Extremely low detection range • Low accuracy • High signal detection complexity	< 0.2 km	[47]–[55]

Table 2. Drone Neutralization Technologies

Destructive	Name	Advantages	Disadvantages	References
Non-destructive	Hijacking	• Enable safe landing	• Only available for drones using known protocols	[100]
	Spooling	• Wide availability • Includes autonomous and manual flight	• Difficult to control • Possibly nullified by manual control	[101]
	Geofencing	• Simultaneous response • Easily extended	• Only available for communicable drones • Modified or disabled by drone operators	[102]–[104]
	RF jamming	• Simple, instant procedure • Effective for drones using unknown protocols	• Can affect nearby facilities • Not effective for autonomous drones	[105], [106]
	Capture	• Available for follow-up investigation • Ground and aerial solutions available	• Difficult to target and hit • Possible damage during landing/crush	[107]–[111]
Destructive	Laser	• Long range • Confirmatory destruction	• High maintenance and operation cost • Generally unsuitable or unavailable for non-military facilities	[112]
	Killer drone	• Low maintenance and operation cost • Possible simultaneous response to multiple drones	• Hard to target and hit • Deregulation for public drone flight required	[43], [113]
	Anti-aircraft weapons	• Confirmatory destruction • Long range neutralization	• High maintenance and operation cost • Generally unsuitable or unavailable for non-military facilities	[114]

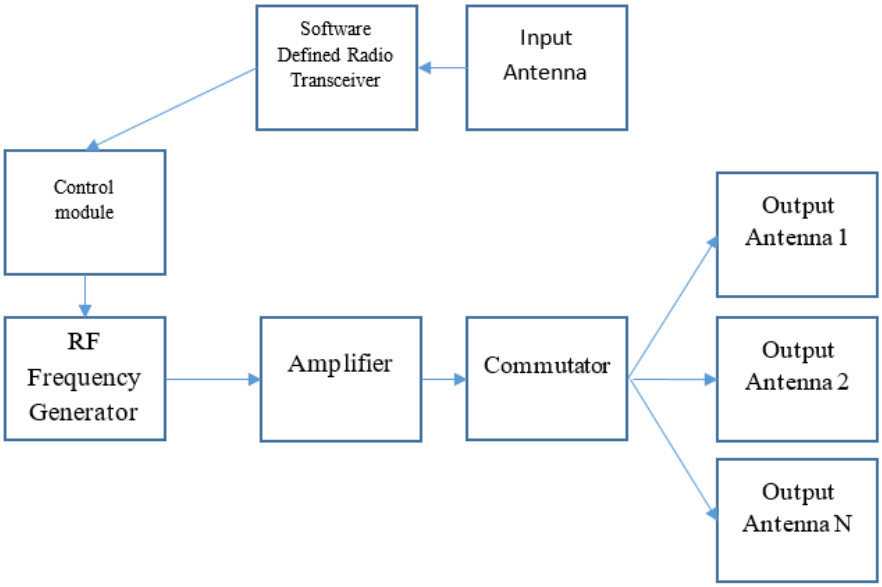


Figure 1. The diagram of the system, composed of two main components: a drone detection subsystem and a jamming subsystem

DOI 10.47451/inn2024-05-05

Rovil Nafieiev[13], *Serhii Simchenko*[14], *Yuriy Pepa*[15], *Ilona Simchenko*[16]

Preparation of films based on metal nitrides by the method of magnetron sputtering and study of their optical properties [8]

Abstract: Semiconductor metal nitrides are of considerable interest to researchers due to the possibility of their application. These materials have high radiation, chemical, and thermal resistance and can be widely used to create transparent electronic elements in the future. Due to combining unique optical, electrical, and piezoelectric properties, TiN, CuN, and AgN can be used in sensors, and devices for generating surface acoustic waves, photonic crystals, and LEDs. The study object was thin films of metal nitrides such as TiN, SnN, and AgN, obtained by reactive magnetron sputtering on quartz substrates. The study subject was the optical characteristics of TiN, SnN, and AgN thin films. The study's purpose was to investigate the influence and features of the magnetron sputtering technology on the optical properties of thin films based on metal nitrides deposited by reactive magnetron sputtering. The main methods of this study were the analysis of conditions and technologies for magnetron sputtering of metals in reactive gases and the creation of an improved design of an experimental magnetron for depositing thin films of metal nitrides. Titanium, silver, and tin nitrides (TiN, AgN, SnN) films on quartz substrates were obtained by reactive magnetron sputtering. For this, the authors developed a planetary magnetron on permanent magnets, with an uncompensated magnetic system with a disk cathode. Samples of various configurations of TiN, AgN, and SnN films were obtained. Spectral characteristics of light transmission were investigated for the received samples. The presence of main spectral maxima at 450 and 570 nm was experimentally determined for the studied samples. The physical mechanisms of the existence of these maxima are substantiated. The technology of magnetron sputtering of metals in reaction gas atmospheres has been improved and the possibility of using the obtained films of metal nitrides as optical filters and wide-band semiconductor materials for creating heterojunctions has been substantiated.

Keywords: films of metal nitrides, TiN, SnN, AgN, planetary magnetron, method of reactive magnetron HF sputtering, optical characteristics.

Ровіл Нафєєв, *Сергій Сімченко*, *Юрій Пепа*, *Ілона Сімченко*

Отримання плівок на основі нітридів металів методом магнетронного напилення та дослідження їх оптичних властивостей

Анотація: У роботі методом реактивного магнетронного напилення отримано плівки нітридів титану, срібла, олова (TiN, AgN, SnN) на кварцових підкладках. Для цього нами був розроблений планетарний магнетрон на постійних магнітах, з нескомпенсованою магнітною системою з дисковим катодом. Отримані зразки плівок TiN, AgN, SnN різних конфігурацій. Для отриманих зразків досліджені спектральні характеристики пропускання світла. Експериментально встановлено для досліджуваних зразків наявність основних спектральних максимумів 450 та 570 нм. Обґрунтовано фізичні механізми наявності данних максимумів. Вдосконалено технологію магнетронного напилення металів в реакційних газових атмосферах та обґрунтувано можливості використання отриманих плівок нітридів металів в якості оптичних фільтрів та широкозонних напівпровідникових матеріалів для створення гетеропереходів.

Ключові слова: плівки нітридів металів: TiN, SnN, AgN, планетарний магнетрон, метод реактивного магнетронного ВЧ-напилення, оптичні характеристики.

Introduction

The relevance of the research topic. Semiconductor metal nitrides are of considerable interest to researchers due to the possibility of their application (*Musil, 1998*; *Berlin et al., 2007*; *Zhukov et al., 2006*). These materials have high radiation, chemical, and thermal resistance and can be widely used to create transparent electronic elements in the future (*Musil et al., 2007*). Due to combining unique optical, electrical, and piezoelectric properties, TiN, CuN, and AgN can be used in sensors, and devices for generating surface acoustic waves, photonic crystals, and LEDs (*Musil et al., 2007*; *Nakamura et al., 1994*). Due to their wide band gap, TiN, CuN, and AgN semiconductors can be used as detector materials for detecting ultraviolet radiation (*Nakamura et al., 1994*; *Zhao et al., 2019*; *Northrop…, 2011*). These materials can also create efficient light-emitting diodes (LEDs) and laser diodes. The relatively small discrepancy between the lattice constants of TiN and Si allows them to produce heterojunctions with properties close to ideal (*Chernyaev, 2007*). TiN, CuN, and AgN films also attract the attention of researchers as window, anti-reflective, protective, and current-carrying layers of low-cost, large-area solar cells (*Zhao et al., 2019*).

In the photodetectors and solar cells development, n-TiN/p-Si and n-CuN/p-Si heterojunctions are of particular interest (*Zee, 1988*; *Gotra, 2001*). This is due to the wide photosensitivity region of such structures (560-2000 nm), their low cost, and the availability of hetero-carrier materials.

To obtain thin layers of TiN, CuN, and AgN compounds, such methods as magnetron sputtering, chemical vapour deposition (CVD), and sol-gel methods are widely used today (*Tarui, 2000*; *Ber & Minsker, 2011*). However, wide-bandgap semiconductor compound polycrystalline films' properties obtained by these methods are currently insufficiently studied, hindering the process of their practical use in real devices and elements. This problem determines the choice of the research topic and its relevance. To obtain TiN, SnN, and AgN thin film compounds, reactive magnetron sputtering methods are widely used today.

Magnetron sputtering systems got their name from M-type microwave devices (magnetron devices) although they have nothing in common with them except for the presence of crossed electric and magnetic fields. Magnetron systems are diode-type sputtering systems in which material is atomised by bombarding the target surface with ions of the working gas formed in the glow discharge gas. These systems' high sputtering rate characteristic is achieved by increasing the ion current density due to the localisation of the plasma in the sputtered target surface using a strong transverse magnetic field (*Musil, 1998*; *Zhukov et al., 2006*). Figure 1 shows a classical scheme of a magnetron sputtering system (*Figure 1*).

One of the advantages of magnetron sputtering systems is that the capture of secondary electrons by a magnetic trap near the target surface prevents intense overheating of the substrate. This, in turn, allows for an increase in the rate of sputtering of materials, and hence

their deposition. The substrate heating source in these systems is the condensation energy of the sputtered atoms.

It is worth noting that the potential applications of atomisation systems are currently far from being fully understood and realised. They have taken a strong position in the manufacturing semiconductor devices and integrated circuits technology. In particular, they are used to form contacts with various semiconductor and passive circuit elements. They are also used for manufacturing resistive films for hybrid microcircuits, magnetic films, low-impedance contacts, and much more.

In addition, they are widely used in industrial plants for applying thin film coatings. These include various filtering, reflective, protective, and heat-saving optical coatings on glass. Such systems are also widely used in plasma-chemical processing, etching, and material production.

The study object was thin films of metal nitrides such as TiN, SnN, and AgN, obtained by reactive magnetron sputtering on quartz substrates.

The study subject was the optical characteristics of TiN, SnN, and AgN thin films.

The study's purpose was to investigate the influence and features of the magnetron sputtering technology on the optical properties of thin films based on metal nitrides deposited by reactive magnetron sputtering.

The objectives of the study were as follows:

- develop an installation for magnetron sputtering of metals. To obtain thin films of compounds such as TiN, SnN, and AgN by the appropriate method;
- investigate the optical properties of films of compounds such as TiN, SnN, and AgN;
- modernise the spectral complex KSVU-12, to establish its operation using an ADC board.

The main study methods are the analysis of conditions and technologies for metals magnetron sputtering in reactive gases and the creation of an experimental magnetron improved design for depositing thin films of metal nitrides:

- *a method for magnetron sputtering* of thin films of materials in reactive gases (used to produce TiN, SnN, and AgN films);
- *method of measuring spectral characteristics* (used to study the spectral and optical characteristics of thin films of metal nitrides).

The practical significance of the study is that:

1. A magnetron of our design was developed.
2. The spectral complex was modified, its operation in automatic mode, and the processing of experimental data on a computer was provided.
3. New measuring techniques for recording small signal levels using instrumental amplifiers and high-speed ADC board were introduced.
4. The technology of magnetron sputtering of metals in reactive gas atmospheres has been improved, and the possibility of using the obtained compounds as optical filters and wide-bandgap semiconductor materials for creating heterojunctions has been substantiated.

Summary of the main material

The films of metal nitrides (TiN, SnN, AgN) were obtained based on the vacuum universal post-VUP 5M (*Figure 2*).

Sputtering was performed under normal conditions and during the initial holding of the samples in a vacuum (residual pressure in the vacuum chamber was 10^{-5} Pa).

For sputtering, the authors have developed a planetary permanent magnetron with an uncompensated magnetic system together with a disc cathode. The scheme of the magnetron is shown in (*Figure 1*). A photo of the magnetron design is shown in the Appendix (*Figure 3*).

A power supply with a voltage or discharge current stabilisation mode with a maximum power of 1.5 kW was also developed for the magnetron.

Sputtering was performed in a direct current mode.

The authors used silver, titanium and tin as sputtering targets. Sputtering was performed in a nitrogen atmosphere at a chamber pressure of 1-5 Pa (*Figure 4*).

Analysis of the results

Transmittance spectra were studied on the sputtered film obtained samples. The corresponding samples' transmission spectra is shown in the Appendix (*Figure 5*; *Figure 6*; *Figure 7*).

Conclusions

The authors' group has developed an original design magnetron and produced metal films by jet sputtering in a nitrogen atmosphere.

Using a magnetic system with a concentrated field resulted in a high density of ionic currents that sputter the target and, accordingly, a high target sputtering ratio of about 90%. This results in a high productivity of material sputtering.

An installation for magnetron sputtering of materials in a reactive gases' atmosphere has been developed.

The magnetron device design principles make it quite easy to implement the task of applying homogeneous coatings to large-format surfaces and films based on nitrides.

In this work course, AgN, SnN, and TiN films were obtained and their optical characteristics were studied.

As can be seen from the study of spectral characteristics, two spectral maxima of 450 and 570 nm were observed on all samples.

The shorter-wavelength maximum of 450 nm is associated with the vibrations of the nitrogen atom in the studied compounds (AgN, SnN, TiN).

The spectral maximum around 570 nm is due to the vibrational motion of the entire molecule (metal + nitrogen atom).

This theory is also confirmed by the significant intensity of the long-wavelength spectral maximum of TiN since this compound is relatively light compared to AgN and SnN.

The samples studied by the authors open prospects for their use in optics and modern nanotechnology.

Conflicts of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

References:

Ber, A. Yu., & Minsker, F. E. (2011). *Assembly of semiconductor devices and integrated circuits*. Moscow. (In Russian)

Berlin, E. et al. (2007). *Vacuum technology and equipment for thin film deposition and etching*. Moscow. (In Russian)

Chernyaev, V. N. (2007). *Technology of production of integrated circuits and microprocessors. Textbook for universities*. Moscow. (In Russian)

Gotra, Z. Yu. (2001). *Technology of microelectronic devices*. Moscow. (In Russian)

Musil, J. (1998). Low-pressure magnetron sputtering. *Vacuum*, *50*(3-4), 363-372.

Musil, J. et al. (2007). *Plasma surface Engineering and its Practical Applications*. USA: Research Signpost Publisher.

Nakamura, S. et al. (1994). Candela-class high-brightness InGaN/AlGaN double-heterostructure blue-light-emitting diodes. *Applied Physics Letters*, *13*, 1687-1693.

Northrop Grumman Gallium Nitride-Based Modules Set New 180-Day Standard for High Power Operation. (2011, April 12). *GlobeNewswire*. https://www.nbcnews.com/id/wbna42549000

Tarui, J. (2000). *Fundamentals of VLSI technology*. Moscow. (In Russian)

Zee, S. (Ed.). (1988). *VLSI technology* (2nd ed.). Moscow.

Zhao, Ch. et al. (2019). III-nitride nanowires on unconventional substrates: From materials to optoelectronic device applications. *Progress in Quantum Electronics*, *61*, 1-31.

Zhukov, V. V. et al. (2006). Atomisation of a magnetron diode target in the presence of an external ion beam. *Journal of Technical Physics*, *76*(4).

Appendix

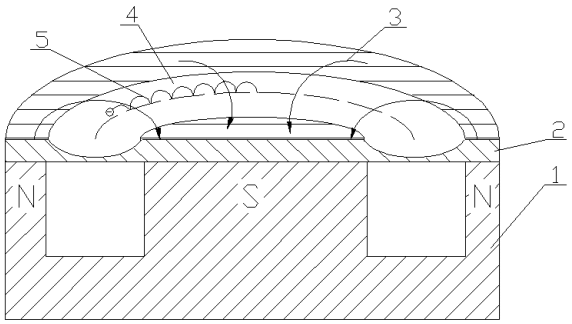


Figure 1. Schematic of a magnetron sputtering system with a flat target: 1 – magnetic system; 2 – cathode-target; 3 – magnetic field line; 4 – zone of the greatest erosion of the cathode surface; 5 – electron trajectory

Figure 2. Photo of the experimental setup

Figure 3. Photo of the developed magnetron

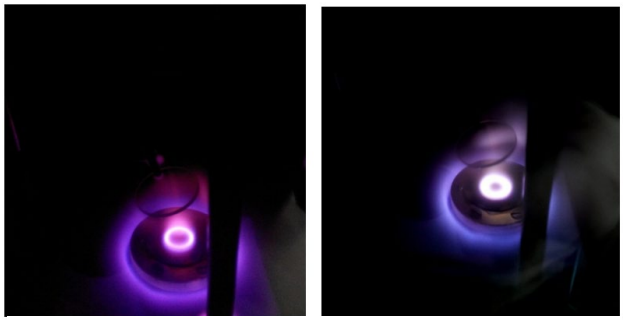


Figure 4. Photo of the spraying process

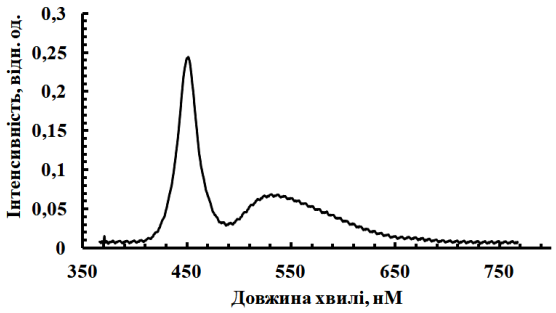


Figure 5. Transmission spectrum of silver nitride (AgN)

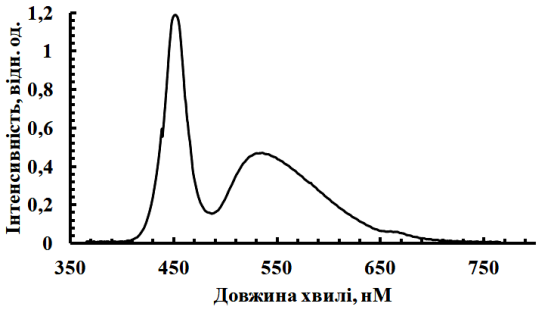


Figure 6. Transmission spectrum of tin nitride (SnN)

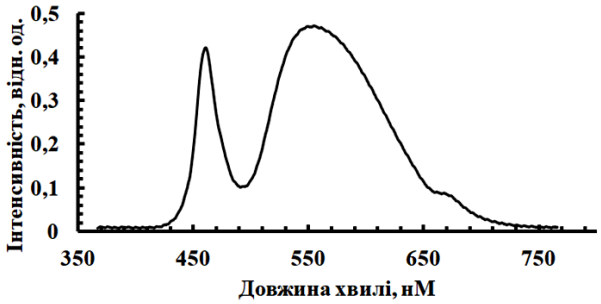


Figure 7. Transmission spectrum of titanium nitride (TiN)

DOI 10.47451/inn2024-05-06

Natalya B. Slyvka[17], *Olha R. Mykhaylytska*[18], *Inna V. Skulska*[19], *Oksana Ya. Bilyk*[20]

Prospects for using black elderberry in the fermented whey drinks technology [9]

Abstract: Today, the demand for food products with the addition of functional ingredients has increased significantly due to their high nutritional value and positive impact on the human body. The study object is the technological process of fermented whey drinks production. The study subject is whey, elderberry flower extract, elderberry berry puree, fermented whey drinks. The purpose is to develop a technology for fermented whey drinks with plant raw materials rich in biologically active substances. The article develops the technology of fermented whey drinks with wild plant material rich in biologically active substances, namely black elderberry. It contains a high content of phenolic compounds (516-8974 mg/100 g of dry water), most of which are anthocyanins, known for their beneficial effects on the body. Numerous studies have demonstrated the antioxidant capacity, antibacterial, antiviral, antidiabetic and antitumor properties of elderberries. Forms of introduction to the serum (flower extract and black elderberry puree) have been selected. The analysis of raw materials showed the expediency of using spirit extract from elderflower and elderberry in a ratio of 1:1. The technology for making elderberry puree was developed and its optimal doses were determined. The fermented whey drinks's formula is calculated, in particular, it is recommended to add 10 and 15% elderberry puree. The finished product's organoleptic and physicochemical parameters are described on the basis of research. As the amount of elderberry puree increased to 15%, the finished product's viscosity also increased. The use of *Streptococcus thermophilus* also causes an increase in viscosity. The obtained products had high taste qualities.

Key words: technology, whey, black elderberry, elderberry extract, elderberry puree, fermented whey drinks, organoleptic indicators, physicochemical indicators.

Наталія Б. Сливка, Ольга Р. Михайлицька, Оксана Я. Білик

Перспективи застовування бузини чорної у технології ферментованих сироваткових напоїв

Анотація: Насьогодні попит на харчові продукти з додаванням функціональних інгредієнтів значно зріс завдяки їх високій харчовій цінності та позитивному впливу на організм людини. Об'єктом дослідження є технологічний процес виробництва ферментованих сироваткових напоїв. Предметом дослідження є сироватка, екстракт цвіту бузини, пюре з ягід бузини, ферментовані сироваткові напої. Метою досліджень є розроблення технології ферментованих сироваткових напоїв із рослинною сировиною, багатою на біологічно активні речовини. У статті розроблено технологію ферментованих сироваткових напоїв із дикорослою рослинною сировиною, багатою на біологічно активні речовини, а саме бузиною чорною. Вона містить високий вміст фенольних сполук (516-8974 мг/100 г сухої води), з яких найбільше антоціанів, що відомі своїм благотворним впливом на організм. Численні дослідження продемонстрували антиоксидантну здатність, антибактеріальні, противірусні, протидіабетичні та протипухлинні властивості ягід бузини. Підібрано форми внесення до сироватки (екстракт з цвіту та пюре з ягід бузини чорної). Проведений аналіз сировини показав доцільність використання спиртового екстракту з цвіту бузини та ягід бузини у співвідношенні 1:1. Розроблено технологію приготування пюре з ягід бузини та встановлено його оптимальні дози. Розраховано рецептуру ферментованих сироваткових напоїв, зокрема рекомендовано внесення 10% і 15% пюре із ягід бузини. На основі досліджень описано органолептичні та фізико-хімічні показники готового

продукту. Із збільшенням кількості пюре із ягід бузини до 15 % збільшувалася і в'язкість готового продукту. Використання *Streptococcus thermophilus* теж спричиняє збільшення в'язкості. Отримані продукти мали високі смакові якості.

Ключові слова: технологія, сироватка, бузина чорна, екстракт бузини, пюре бузини, ферементовані сироваткові напої, органолептичніт показники, фізико-хімічні показники.

Вступ

Харчова промисловість зазнає постійних змін через високі вимоги до якості продуктів харчування та змін уподобань споживачів. Насьогодні попит на харчові продукти з додаванням функціональних інгредієнтів значно зріс завдяки їх високій біологічній цінності та позитивному впливу на організм людини (*Саблука та ін, 1993*). Розроблення функціональних продуктів є основним напрямом розвитку та інновацій у харчовій галузі (*Шубравська, 2008*). Функціональні напої можуть бути доповнені або збагачені функціональними інгредієнтами, такими як вітаміни, мінерали, біоактивні пептиди, пробіотики, пребіотики тощо. Понад 40% функціональних продуктів харчування становлять молочні продукти, зокрема ферментовані напої (*Васильчак, 2005*).

Широкої популярності набувають як свіжі, так і ферментовані сироваткові напої із використанням рослинної сировини, зокрема в комбінації з різними фруктами, ягодами та соками. Це стало модним трендом у оздоровчому харчуванні. Перевагою таких продуктів є невисока вартість, що робить їх доступними для пересічного споживача (*Грек та Красуля, 2011*; *Сливка та ін, 2016*; *Юкало, 2002*).

Молочна сироватка, яка утворюється в процесі коагуляції казеїну при виробництві сирів, містить 6,3% сухих речовин (з них 4,5% лактози), 0,3% молочного жиру, 0,9% білка. Вона характеризується збалансованим вмістом незамінних амінокислот (метіонін, лізин, гістидин, триптофан та ін.), які забезпечують регенерацію білків печінки, плазми крові та гемоглобіну. Сироватка також багата на вітаміни групи В, А, С, Е, нікотинову та фолієву кислоти, холін, біотин та ін.; на мінеральні речовини – кальцій, калій, магній, фосфор, на які припадає 0,6%. Висока масова частка лактози є одним з факторів нормального травлення та збереження здорової мікрофлори кишечника (*Білик, 2009*).

Ягоди бузини цінуються за їх антиоксидантні властивості. *Sambucus nigra* є надзвичайно поширеною рослиною в дикій флорі України, але вона недостатньо використовується. Бузина використовується в сучасній і традиційній медицині завдяки складному хімічному складу плодів. Високий вміст фенольних сполук (516-8974 мг/100 г сухої води), з яких найбільше антоціанів. Фенольні сполуки відомі своїм благотворним впливом на організм. Численні дослідження продемонстрували антиоксидантну здатність, антибактеріальні, противірусні, протидіабетичні та протипухлинні властивості фруктів. Вважається, що більшість лікувальних властивостей ягід бузини можна співвіднести з антиоксидантною активністю, яку вони мають (*Пересада та Кирпіченкова, 2022*; *Силенко та ін, 2022*; *Хомич та ін, 2012*).

Тому використання цвіту та ягід бузини у технології ферментованих напоїв із сироватки дозволить створити продукти підвищеної біологічної цінності із лікувально-

профілактичними властивостями.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виробництва ферментованих сироваткових напоїв. Предметом дослідження є сироватка, екстракт цвіту бузини, пюре з ягід бузини, ферментовані сироваткові напої.

Метою досліджень є розроблення технології ферментованих сироваткових напоїв із рослинною сировиною, багатою на біологічно активні речовини.

Відповідно до поставленої мети визначено такі задачі:

- дослідити процес екстракції із квітів бузини БАР для напоїв;
- обґрунтувати необхідність використання пюре із ягід бузини;
- уточнити технологічні параметри виробництва ферментованих сироваткових напоїв;
- визначити їх основні органолептичні та фізико-хімічні показники.

Основна частина

Матеріали та методи досліджень

Дослідження проводили у лабораторії кафедри технології молока і молочних продуктів Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.

У першій серії досліджень здійснювали вибір нетрадиційної дикорослової сировини, яка характеризувалася б високим вмістом біологічно активних речовин для сироваткових ферментованих напоїв; досліджували процес екстракції цвіту бузини, підготовку пюре з ягід бузини.

У другій серії досліджень розробляли рецептури на сироваткові ферментовані напої із використанням нової сировини; обґрунтовували особливості технологічних операцій та оцінювали якість готових продуктів.

Для приготування сироваткових ферментованих напоїв використовували такі види молочної сироватки:

- нативну молочну сироватку отриману з-під сиру кисломолочного з масовою часткою сухих речовин 5,5%, кислотністю 70°Т;
- освітлену молочну сироватку, отриману за допомогою теплової денатурації за температури 90…95°С з наступним відділенням білків.

Для заквашування використовували закваску Kefir12 компанії Chr.Hansen, до складу якої входять мезофільні і термофільні мікроорганізми, а також молочні дріжджі. Дріжджові культури відібрані за їх здатністю забезпечувати збалансований кисломолочний смак і аромат напою.

Для покращення консистенції продукту до закваски в комбінації з мезофільними мікроорганізмами введений *Streptococcus thermophilus,* який дозволяє досягнути густої структури (*Боднарчук та ін., 2010*).

Склад культур закваску Kefir12: *Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus rhamnosus, Lactococcus lactis sub. lactis biovar diacetylactis, Leuconostoc mesenteroides, Bifidobacterium infantis Bifidobacterium lactis*

Lactobacillus acidophilus Lactobacillus fermentum Lactobacillus lactis Lactobacillus paracasei Lactobacillus rhamnosus Lactococcus lactis subsp. cremoris Lactococcus lactis subsp. lactis Lactococcus lactis s

Закваска Kefir12 має такі переваги:

- завдяки технології прямого внесення та комбінації заквасочних культур і молочних дріжджів є простою у використанні і зручною для підприємств невеликої потужності;
- технологічний процес проходить швидше (до 8-14 год.), оскільки не потрібне дозрівання продукту;
- термін придатності подовжується і отримують продукт стабільно високої якості;
- органолептичні показники та консистенція під час зберігання не змінюється і залишається сталою.

Для покращення кольору квасів та підвищення сухих речовин у сироватці використовували натуральний компонент – пюре із ягід бузини, яке багате на барвні речовини фіолетового кольору і мають високий вміст харчових волокон.

Цвіт бузини чорної було зібрано протягом травня у смт.Красне Львівської області, цвіт висушено за температури 40°С. Ягоди бузини зібрано у серпні.

Дослідження процесу екстрагування бузини

Температура екстрагенту впливає на швидкість переходу екстрактивних речовин в екстракт, а значить і на тривалість процесу. Слід враховувати, що при низьких температурах знижується вихід біологічно активних речовин із рослинної сировини і збільшується тривалість екстрагування, а при температурі вище 60ºС руйнуються окремі біологічно активні речовини, найперше вітаміни (*Басюк та Наконечна, 2021*).

Тому нами для досліджень обрано три температурні режими – 40ºС, 50ºС і 60ºС і чотири часові параметри – 20 хв, 40 хв, 60 хв і 80 хв.

Як екстрагенти використовували деіонізовану воду і 30% спиртовий розчину.

Для екстракту використовували цвіт бузини та свіжі ягоди бузини у співвідношенні 1:1.

Для одержання екстрактів сировину подрібнювали до розміру часток 3 мм, бо при цьому збільшується поверхня частинок сировини і контакту твердої та рідкої фази при екстрагуванні і спостерігається ефективніший перехід екстрактивних речовин в розчин.

Для вилучення зі свіжих ягід 700 мг гомогенізованого матеріалу струшували із 150 мл екстрагенту. Потім екстракти фільтрували.

У додатку представлені результати вилучення розчинних сухих речовин залежно від тривалості екстрагування, з яких можна встановити оптимальний режим екстрагування (*Таблиця 1*).

Отже, для гідромодуля оптимальна тривалість процесу екстрагування 60 хв. при температурі 60ºС. Подальше збільшення температури вище 60ºС призводить до руйнування вітаміну С.

Другим екстрагентом для вилучення БАР з бузини був спиртовий розчин.

Результати досліджень наведені у додатку (*Таблиця 2*).

За результатами дослідження було встановлено, що для екстракту потрібно 80 хв. для отримання вмісту розчинних сухих речовин 2,2%. Довше недоцільне, оскільки немає

приросту цих речовин.

Отже, з отриманих результатів можна вважати оптимальним режимом екстрагування спиртовим розчином температуру процесу 80ºС та тривалість процесу 80 хв.

При виробництві молочних продуктів важливим є їх органолептичні показники. Тому слід дослідити органолептичні характеристики отриманих екстрактів.

У таблиці 3 представлено характеристику зовнішнього вигляду, запаху та смаку водного та спиртового екстрактів (*Таблиця 3*).

З таблиці 3 видно, що кращими характеристиками володіє спиртовий екстракт, тому пропонуємо його для включення до рецептури ферментованих сироваткових напоїв. Екстракт вносили до сироватки у кількості 15%, оскільки збільшення кількості приводило до погіршення сенсорних показників суміші.

Також було досліджено зміни органолептичних та мікробіологічних показників під час зберігання до 7 діб. Екстракти зберігали при температури 4°С. Перші ознаки псування водних з'явилися на п'яту добу, а спиртові екстракти не зазнавали змін. Мікробіологічне псування можна пояснити рівнем pH, яке для водних екстрактів була в межах 6,5-6,8. Тому при одержанні водного екстракту можна рекомендувати збільшення температури екстрагування до 70°С.

Таким чином, в результаті досліджень встановлено оптимальні параметри екстрагування, що дозволяє використовувати їх у технології ферментованих сироваткових напоїв. Такі продукти при щоденному споживанні дозволять поповнити організм людини біологічно активними речовинами.

Обгрунтування оптимальної дози пюре з ягід бузини як натурального барвника та структоутворювача

Серед усіх природних водорозчинних пігментів антоціани, які присутні в деяких ягодах, є перспективними добавками, які мають як важливу антиоксидантну дію, так і інтенсивний фіолетовий колір. Тому використання пюре з ягід бузини можна використовувати як природний барвник при виробництві ферментованих сироваткових напоїв.

Популярним стабілізатором у складі молочних продуктів є пектин, який переважно застосовують у вигляді високоочищеної харчової добавки. Пектиновмісні пюре теж можуть виявляти стабілізувальну здатність. Пектиновмісна сировина, у тому числі бузинове пюре, за підвищеної кислотності навпаки, максимально проявляє стабілізувальні властивості. Тому до рецептури ферментованих сироваткових напоїв було включено бузинове пюре та досліджено особливості його приготування.

Ягоди бузини чорної збирали у стадії споживчої стиглості. За органолептичною оцінкою ягоди бузини чорної мали фіолетово-чорний колір, солодкуватий, специфічний смак та аромат, що відповідає ягодам бузини.

Зібрано три кілограми ягід, їх перебрали і видалили плодоніжки. Ягода бузини чорної складається на 58,9% із мякоті, 30,9% із шкірки і 10,2% із насіння.

Літературні дані свідчать, що в шкірці ягід є максимальна кількість барвних та фенольних речовин, тому слід максимально зруйнувати жорстку клітинну оболонку для їх вивільнення і переходу в готовий продукт. Для інтенсивного подрібнення ягід бузини

використовували багатофункціональний пристрій Thermomix типу 31-1.

Для деструкції протопектину й збільшення кількості розчинного пектину, який є природнім гідроколоїдом і здатний формувати структуру ферментованого напою, мезгу бузини піддавали термокислотному гідролізу при pH 2,7-3,3, додавши 1% лимонної кислоти. pH вище 3,3 не є ефективним, оскільки відбувається незначна деструкція протопектину, що знаходиться в стінках оболонок рослинних клітин і не можна досягти підсилення стабілізувальних властивостей пюре. pH нижче 2,7 обумовлює в готовому продукту кислий смак і показник тированої кислотності дуже високий.

Температура обробки була 90-95°С, витримка протягом 15-20 хв. При цьому шкірочка плодів частково розм'якшувалася завдяки переходу протопектину в пектин під впливом кислоти. Суміш охолоджували, блендерували 2-3 хвилини і протирали крізь сито з отворами 1 мм. Додавали 30% цукру і уварювали. Отримане пюре має наступні фізико-хімічні показники: масова частка сухих речовин 20±0,5%, pH 3,2±0,1.

Бузинове пюре вносили у кількості 5%, 10%, 15% від маси сироватки. Оптимальну кількість визначали за органолептичними показниками продукту.

У додатку (*Таблиця 4*) наведено органолептичні показники готових продуктів.

Із отриманих органолептичних характеристик видно, що дослідні зразки ферментованого сироваткового напою мали нормативні показники. Газоутворення у готовому продукті спричинено нормальною життєдіяльністю мікрофлори кефірної закваски, оскільки саме дріжджі мають першочерговий вплив на формування органолептичних характеристик. Внаслідок спиртового бродіння виділяється вуглекислота, яка надає цьому напою м'якшого смаку, гостроти та відчуття свіжості.

Пюре з ягід бузини та екстракт з цвіту бузини надає оригінальності продукту.

Аналізуючи таблицю 4, можна стверджувати, що оптимальними дозами є 10% і 15 % пюре з ягід бузини.

Наявний високий вміст харчових волокон у ягодах також дозволив підвищити вміст сухих речовин у готовому продукті та покращити його якість.

Для опрацювання результатів оцінювання якості готового продукту застосовували сучасний дескрипторно-профільний метод сенсорного аналізу, що дає змогу визначити рівень якості продукції, зробити об'єктивні висновки.

Дескрипторно-профільний метод передбачає використання 5-балової системи оцінки якості органолептичних показників і проведення профілювання показників якості. Обрані такі дескриптори: зовнішній вигляд, запах, колір, консистенція, смак.

Використовуючи розроблену таблицю профілювання , проведено оцінку якості обраних зразків і результати оцінки заносимо у додатку (*Таблиця 5*). У зв'язку з тим, що смак і запах взаємопов'язані показники, то при баловій оцінці їх обєднали.

Для наочного сприйняття результатів дослідження проводено графічне опрацювання, яке представлено у додатку (*Рисунок 1*).

Аналізуючи отримані дані можна стверджувати, що найвищу органолептичну оцінку отримала рецептура №3. Це пояснюється тим, що до рецептури входять достатня кількість пюре із ягід бузини та доза екстракту бузини, яка надає хороший смак та аромат. Високу бальну оцінку отримала рецептура №2. Рецептура №1, до складу якої входить найменша кількість пюре отримала найменше балів із дослідних взірців. Це можна

пояснити гіршим смаком готового продукту порівняно з зразками №3 і №2.

Дослідження фізико-хімічних показників наведено у таблиці 6.

Як видно з таблиці 6 в'язкість продукту збільшується із збільшенням кількості пюре бузини, що пов'язано із збільшенням сухих речовин у продукті. Збільшення в'язкості можна пояснити також і складом закваски, до складу якої входять Streptococcus thermophilus.

Це веде до підвищення вологоутримувальної здатності. Порівняно з контролем вона більша на 2,2-3,9%.

Таким чином, можна зробити висновок, що розроблені рецептури напоїв з добавками характеризуються високими смаковими якостями, проте для подальших досліджень обрано рецептуру №3.

Удосконалення технології ферментованих сироваткових напоїв

На підставі експериментальних і теоретичних досліджень визначено кількісні співвідношення молочної сироватки та заквашувальних композицій; обґрунтовано основні технологічні параметри, які забезпечують виробництво продукції високої якості; розроблено науково-обґрунтовані технології виробництва та рецептури для таких продуктів: квас сироватковий з бузиною та гвоздикою різним процентним співвідношенням компонентів.

У процесі ферментації квасного сусла з різними видами молочної сироватки контролювали титровану кислотність та динаміку накопичення діоксиду вуглецю. Початкова кислотність нативної сироватки становила 6,6 $см^3$ 1 моль/$дм^3$ розчину NaOH на 100 $см^3$ сусла. У зброженому суслі на основі нативної сироватки титрована кислотність змінюється в лужному напрямку і становить 7,8 $см^3$ 1 моль/$дм^3$ розчину NaOH на 100 $см^3$ сусла. Для освітленої сироватки з початковою кислотністю 2,5 показник підвищується до 4 відповідних одиниць.

Отже, молочну сироватку використовувати в нативному вигляді як основу для виробництва ферментованих напоїв менш доцільно, ніж освітлену. Хоча нативна сироватка є найбільш біологічно цінною. Кислотність нативної сироватки перед бродінням коливалась в широкому діапазоні, а присутність сироваткових білків надавала напоям мутність. Позитивним для прийняття технологічних рішень по використанню освітленої сироватки для ферментованих напоїв є те, що при видаленні азотистих сполук суттєво послаблюється незвичний для споживача специфічний присмак сироватки. Основними причинами утворення останнього є реакції за участі білків (розчеплення, дія світла і кисню, реакції між білками і вуглеводами).

Тому до рецептури ми включили освітлену сироватку.

Сформовані рецептури (*Таблиця 7*) ферментованих сироваткових напоїв з бузиною.

Пропонуємо продукт виготовляти резервуарним способом. Впровадження резервуарного способу виробництва має ряд переваг: зменшуються затрати ручної праці, для виробництва напоїв не потрібні термостатні камери, а значить, зменшуються виробничі площі.

Якість молочної сироватки відповідно до діючої нормативно-технічної документації повинна відповідати таким вимогам:

- зовнішній вигляд та колір – однорідна рідина зеленуватого кольору без сторонніх домішок (допускається наявність білкового осаду);
- смак і запах – чистий, властивий молочній сироватці без сторонніх присмаків;
- густина – не нижче 1023 кг/м^3;
- кислотність – не вища – 25°Т.

Сироватку накопичують у резервуарі для зберігання, далі сироватку направляють на сепаратор-вершковідділювач. Після цього знежирену сироватку освітлюють при температурі 92-94°С з витримкою 15-20 секунд. Фільтрують для видалення осаду. Температура заквашуванння становить 35-40°С, тому її охолоджують до температури заквашування, додають екстракт і пюре бузини, гвоздику мелену та закваску прямого внесення. Тривалість сквашування – 6-8 годин до кислотності 120-130°Т. Після закінчення сквашування готовий продукт охолоджують до температури 2-8°С і направляють на на розлив у ПЕТ-пляшку.

Для впровадження розробленої технології ферментованих сироваткових напоїв функціонального призначення у цехах з виробництва ферментованих молочних продуктів на підприємствах молокопереробної потрібно проводити доукомплектування обладнанням, яке допоможе отримати пюре та екстракт з бузини.

Дискусія

В останні роки, у зв'язку з погіршенням економічної ситуації, спостерігається збільшення загальної захворюваності населення, скорочення середньої тривалості життя. У багатьох людей виявлений дефіцит вітамінів, макро- і мікроелементів, обумовлений скороченням споживання овочів і фруктів, зростанням споживання продуктів, підданих тепловій обробці. Актуальною є розробка продуктів, в тому числі напоїв, збагачених необхідними вітамінами, макро- і мікроелементами, іншими біологічно активними речовинами. Адекватне харчування забезпечує нормальне функціонування систем організму людини, сприяє профілактиці захворювань, підвищенню працездатності і створює умови активного опору до несприятливого впливу навколишнього середовища (*Наговська та ін., 2023*; *Сливка та ін, 2022*; *Турчин та ін., 2017*).

У ферментованих сироваткових напоях поєднуються цінні компоненти як сироватки, так і продуктів метаболізму мікроорганізмів, які утворюються під час бродіння (етиловий спирт, леткі кислоти, ферменти, різноманітні ароматичні сполуки тощо). Перспективність збагачення таких продуктів продуктами переробки бузини підтверджено численними дослідженнями і закордонних вчених (*Wazbinska et al., 2000*; *Mratinic & Fotiric, 2007*; *Vulić et al., 2008*; *Galić et al., 2009*; *Wu et al., 2002*).

Ця проблема потребує і подальших досліджень, зокрема динаміку змін органолептичних, фізико-хімічних та мікробіологічних оказників впродовж зберігання.

Висновки

Аналіз іноземних та вітчизняних літературних джерел свідчать про необхідність створення нових інноваційних технологій молочних продуктів із сироватки. При розробці таких продуктів зважають на підвищений вміст біологічно активних речовин,

вітамінів, мінеральних речовин. Перспективним напрямком може стати використання вітчизняної дикорослої рослинної сировини у технології ферментованих сироваткових напоїв. На основі аналізу хімічного складу дикорослої сировини, поширеної у західному регіоні України обрано бузину чорну.

Встановлено оптимальні температурні параметри та тривалість екстрагування суміші сухого цвіту бузини та ягід бузини у співвідношенні 1:1. При екстрагуванні водою оптимальна тривалість процесу становить 60 хв. при температурі 60ºС, для спиртового екстрагування температуру процесу 60ºС та тривалість процесу 90 хв. Обрано для використання у подальших дослідженнях спиртовий екстракт, який мав оригінальні смак та запах і кращі показники при зберіганні.

Розраховано рецептуру ферментованих сироваткових напоїв, зокрема рекомендовано внесення 10% і 15% пюре із ягід бузини.

На основі досліджень описано органолептичні та фізико-хімічні показники готового продукту. Із збільшенням кількості пюре із ягід бузини до 15% збільшувалася і в'язкість готового продукту. Використання *Streptococcus thermophilus* теж спричиняє збільшення в'язкості.

Удосконалено технологію та визначено технологічні параметри виробництва ферментованих сироваткових напоїв. Для впровадження розробленої технології цих напроїв у цехах з виробництва ферментованих молочних продуктів на підприємствах молокопереробної потрібно проводити доукомплектування обладнанням, яке допоможе отримати пюре та екстракт з бузини.

Конфлікти інтересів

Автори заявили, що конфлікту інтересів немає.

Список джерела інформації:

Басюк, Т. М., Наконечна, Ю. Г. Удосконалення технології переробки бузини чорної при виробництві харчових продуктів // Матеріали конференцій (ННІДО ТХВРГ). – 2021. [Basyuk, T. M., & Nakonechnaya, Yu. G. (2021). Improving the technology of processing black elderberry in food production. *Conference Proceedings (UNIDO TCWRG).* (In Ukrainian)]. http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/10422

Білик, О. Я. Молочна сироватка – цінна сировина для виробництва функціональних продуктів // Науковий вісник ЛНУВМ та БТ імені С.З. Гжицького. – 2009. – Вип. 11, 2(41), 5. – С. 422-427. Львів. [Bilyk, O. Ya. (2009). Whey is a valuable raw material for the production of functional products. *Scientific Bulletin of LNUVM and BT Named after S.Z. Gzhitsky*, *11*, 2(41), 5, 422-427. Lviv. (In Ukrainian)]

Боднарчук, О. В. та ін. Антагоністична активність заквашувальної мікрофлори кефіру. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького. – 2010. – Вип. 2(44), 4. – С. 7-11. [Bodnarchuk, O. V. et al. (2010). Antagonistic activity of the fermentation microflora of kefir. *Scientific Bulletin of the Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology Named after S.Z. Gzhytsky*,

2(44), 4, 7-11. (In Ukrainian)]

Васильчак, С. В. Особливості функціонування ринку молока і молочної продукції // Науковий вісник НЛТУ України. – 2005. – Вип. 15(4). – С. 357-362. [Vasilchak, S. V. (2005). Features of functioning of the milk and dairy products market. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, *15*(4), 357-362. (In Ukrainian)]

Грек, О. В., Красуля, О. О. Напої на основі молочної сироватки з пророщеними злаками // Обладнання та технології харчових виробництв. – 2011. – Вип. 27. – С. 366-370. [Grek, O. V., & Krasulya, O. O. (2011). Drinks based on whey with sprouted cereals. *Equipment and Technologies of Food Production*, *27*, 366-370. (In Ukrainian)]

Наговська, В. та ін. Розроблення технології кисломолочного напою зі спельтою // Географічна освіта і наука: виклики і поступ: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – 2023. – С. 18-20. [Nagovskaya, V. et al. (2023). Development of technology for fermented milk drink with spelt. *Geographical Education and Science: Challenges and Progress. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, 18-20. (In Ukrainiian)]

Пересада, К., Кирпіченкова, О. М. Використання ягід бузини чорної в кулінарії // Матеріали 88 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті». – 2022. – Вип. 3. – С. 182. Київ. [Peresada, K., & Kirpichenkova, O. M. (2022). The use of black elderberry berries in cooking. *Proceedings of the 88th International Scientific Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students "Scientific Achievements of Youth – Solving the Problems of Human Nutrition in the 21st Century"*, *3*, 182. (In Ukrainian)]

Саблука, П. Т., Бойка, В. І., Лобаса, М. Г. (ред.) Ринок продовольства: проблеми формування і розвитку. Київ: Укр. ШТЕІ, 1993. [Sabluka, P. T. et al. (Ed.) (1993). *Food market: problems of formation and development*. Kiev: Ukrainian ShTEI. (In Ukrainian)]

Силенко, П. О., Кирпіченкова, О. М., Стахурська, Л. В. Використання плодів бузини чорної у виробництві солодких страв // Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції, «Інноваційні технології в готельно-ресторанному бізнесі», присвяченої до 70-річчя з дня народження професора В.Ф. Доценка. – 2022. – С. 66. Київ. [Silenko, P. O. et al. (2022). Use of black elderberry fruit in the production of sweet dishes. *Materials of the 11th all-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Innovative Technologies in the Hotel and Restaurant Business", Dedicated to the 70th Anniversary of the Birth of Professor V.F. Dotsenko*, 66. (In Ukrainian)]

Сливка, Н. Б., Білик О. Я., Наговська В. О. Розроблення технології кисломолочного напою з ягодами годжі // Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Харчові технології. 2022. – Вип. 24(97). – С. 65-71. [Slivka, N. B. et al. (2022). Development of technology for fermented milk drink with goji berries scientific. *Bulletin of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnology. Series: Food Technologies*, *24*(97), 65-71. (In Ukrainian)]

Сливка, Н. Б., Михайлицька, О. Р., Турчин, І. М. Розроблення технології ферментованих напоїв на основі сироватки // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Ґжицького. – 2016. – Вип. 18, 2(68). – С. 153-156. [Slivka, N. B. et al. (2016). Development of technology for fermented beverages based on whey. *Scientific Bulletin of LNUVMBT Named after S. Z.*

Gzhitsky, *18*, 2(68), 153-156. (In Ukrainian)]

Турчин, І. М. та ін. Доцільність використання насіння чіа у технології кефіру // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького. Серія: Харчові технології. – 2017. – Вип. 19(75). – С. 153-156. [Turchin, I. M. et al. (2017). Expediency of using chia seeds in kefir technology. *Scientific Bulletin of the Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology Named after S.Z. Gzhytsky. Series: Food Technologies*, *19*(75), 153-156. (In Ukrainian)]

Хомич, Г. П., Капрельянц, Л. В., Ткач, Н. Дослідження технологічних властивостей ягід бузини чорної // Тематичний збірник наукових праць "Обладнання та технології харчових виробництв". – 2012. – Вип. 28. – С. 387-392. [Khomich, G. P. et al. (2012). Research of technological properties of black elderberry berries. *Thematic Collection of Scientific Papers "Equipment and Technologies of Food Production"*, *28*, 387-392. (In Ukrainian)]. http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/4192

Шубравська, О. В. Розвиток ринку молока і молочної продукції: світові тенденції і вітчизняні перспективи // Економіка і прогнозування. – 2008. – Вип. 2. – С. 80-93. [Shubravskaya, O. V. (2008). Development of the milk and dairy products market: global trends and domestic prospects. *Economics and Forecasting*, *2*, 80-93. (In Ukrainian)]

Юкало, В. Біологічна цінність ферментованих молочних продуктів // Харчова і переробна промисловість. – 2002. – Вип. 3. – С. 24-25. [Yukalo, V. (2002). Biological value of fermented dairy products. *Food and Processing Industry*, *3*, 24-25. (In Ukrainian)]

Enescu, C. M., Houston Durrant, T., Caudullo, G. (2016). Sambucus nigra in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J. et al. (Eds.), *European Atlas of Forest Tree Species*. Luxembourg: Publ. Off. EU.

Galić, A. et al. (2009). The polyphenols stability, enzyme activity and physico-chemical parameters during producing wild elderberry concentrated juice. *Agric. conspec. sci.*, *74*(3), 181-186.

Mratinic, E., & Fotiric, M. (2007). Selection of black elderberry (sambucus nigra l.) and evaluation of its fruits usability as biologically valuable food. *Genetika*, *39*(3), 305-314.

Vulić, J., Vracar, L., Sumic, Z. (2008). Chemical characteristics of cultivated elderberry fruit. *Acta Periodica Technologica*, *39*, 85-90.

Wazbinska, J. et al. (2000). Charakterystyka owocow admian szlachetnych oraz form dziko rosnacych bzu charnego. *Rocz. Akad. Rol. w Poznani CCCXXIII. Ogrodnictwo*, *31*(II), 428-431.

Wu, X., Cao, G., Prior, Rl. (2002). Absorption and metabolism of anthocyanins in elderly women after consumption of elderberry and blueberry. *Journal of NutriLife*, *132*(7), 1865-1871.

Додатки

Таблиця 1. Вміст розчинних сухих речовин у водному екстракті, %

Температура екстрагування, °С	Тривалість екстрагування, хв.			
	20	40	60	80
40	1,5	1,55	1,7	1,7
50	1,5	1,65	1,75	1,75
60	1,5	1,65	1,8	1,8

Таблиця 2. Вміст розчинних сухих речовин у спиртовому екстракті, %

Температура екстрагування, °С	Тривалість екстрагування, хв.			
	20	40	60	80
40	1,5	1,55	1,6	1,7
50	1,5	1,65	1,8	1,9
60	1,5	1,75	1,95	2,2

Таблиця 3. Органолептичні показники екстрактів з ягід бузини

Вид екстракт	Зовнішні й вигляд	Запах	Смак
Водний	світло-фіолетовий	слабкий, з ароматом бузини	слабковиражений, трохи терпкий
Спиртовий	насичений фіолетовий	своєрідний, із ароматом бузини	кислуватий, терпкий

Таблиця 4. Органолептична характеристика ферментованого сироваткового напою

Назва показника	Характеристика		
	5% пюре	10% пюре	15% пюре
Зовнішній вигляд, консистенція	Однорідна, ніжна, рідка суспезнія	Однорідна, ніжна, рідка суспезнія, з помірним газоутворення	
Смак і запах	Кисломолочний, ніжний, з присмаком бузини, несолодкий	Кисломолочний, ніжний, з смаком бузини, в міру солодкий	
Колір	Однорідний, світло-фіолетового до фіолетового, рівномірний по всій масі		

Таблиця 5. Профілювання показників якості продуктів за 5-баловою шкалою

Характеристика показників, бали	Найменування показників				
	Зовнішній вигляд	Колір	Консистенція	Смак	Запах
5	Дуже приємний	Характерний однорідний	Однорідна по всій масі	Дуже приємний, гармонійний	Дуже приємний характерний
4	Приємний	Характерний дещо неоднорідний	Однорідна з незначними включеннями осаду	Приємний, властивий даному виду продукту	
3	Задовільний	Неоднорідний сприйнятливий	Однорідна з включенням осаду	Задовільний	Слабо виражений
2	Незадовільний	Дуже неоднорідний	Неоднорідна	Нехарактерний	
1	Недопустимий	Нехарактерний, дуже неоднорідний	Нехарактерний	Недопустимий	

Таблиця 6. Фізико-хімічні показники ферментованих сироваткових напоїв

Найменування показника	Контроль	Варіанти		
		1	2	3
1	2	3	4	5
Титрована кислотність, °Т	120	74±1	70±1	69±1
Активна кислотність, од. pH	4,6	4,5	4,5	4,5
В'язкість100см^3 згустку, с	94,5	99,5	110,5	111,8
Синерезис, %	18,0	15,0	12,0	11,0
Вологоутримувальна здатність, %	92,3	94,5	95,4	96,2

Таблиця 7. Рецептури ферментованих сироваткових напоїв

Компоненти	Маса компонентів			
	Контроль	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
1	2	3	4	5
Сироватка підсирна	950,0	846,0	796,0	746,0
Цукор	50,0	-	-	-
Пюре бузини	-	50,0	100,0	150,0
Екстракт бузини	-	100,0	100,0	100,0
Гвоздика	-	1,5	1,5	1,5
Регулятор кислотності	-	2,5	2,5	2,5
Всього	1000	1000	1000	1000

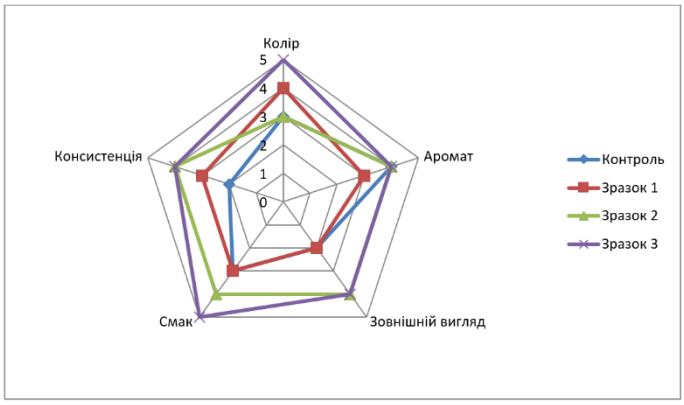


Рисунок 1. Оцінка органолептичних проказників ферментованих сироваткових напоїв

DOI 10.47451/inn2024-06-01

Olha R. Mykhaylytska[18], *Natalya B. Slyvka*[17], *Volodimyra O. Nagovska*[21], *Yaroslava. S. Vavrysevych*[22]

The use of "Lactomyces tibeticus" for the production of fermented milk drink [10]

Abstract: Recently research on the use of the natural microbial association *Lactomyces tibeticus* in producing fermented milk drinks is relevant. The article presents information on the study of the properties of the microbiota *Lactomyces tibeticus*. An analysis of the manufactured fermented milk drink based on *Lactomyces tibeticus* was performed. The study subject was the parameters of the technological process for the production of fermented milk drink using the natural microbiota "Tibetan mushroom". The study object was the technology of fermented milk drink made using *Lactomyces tibeticus*. The purpose was to use *Lactomyces tibeticus* for producing a fermented milk drink. Organoleptic, physico-chemical and microbiological methods were used by the authors to achieve the purpose and solve the set study tasks. Changes in active and titrated acidity, and the relationship between lactic acid microorganisms and yeast at different temperatures of fermentation of the milk mixture, were studied. Optimal modes of milk fermentation under the action of the microbial association *Lactomyces tibeticus* were established, thanks to which a high-quality fermented milk drink with excellent organoleptic parameters was obtained.

Keywords: technology, microbial associations, *Lactomyces tibeticus*, yeast, lactic acid bacteria, acetic acid microorganisms, milk, fermentation.

Ольга Романівна Михайлицька, *Наталія Богданівна Сливка*, *Володимира Олександрівна Наговська*, *Ярослава Степанівна Вавричевич*

Використання «тибетського грибка» для виготовлення кисломолочного напою

Анотація. Останнім часом актуальним є дослідження щодо застосування природної мікробної асоціації «тибетський грибок» при виготовленні кисломолочних напоїв. У статті представлено інформацію щодо вивчення властивостей мікробіоти «тибетський грибок». Здійснено аналіз виготовленого кисломолочного напою н
а основі «тибетського грибка». Предметом дослідження були параметри технологічного процесу виробництва кисломолочного напою з використанням природної мікробіоти «тибетський гриб». Об'єктом дослідження була технологія кисломолочного напою, виготовленого з використанням «тибетського гриба». Метою дослідження було використання «тибетського грибка» для виготовлення кисломолочного напою. Для досягнення мети і вирішення поставлених завдань дослідження авторами використані органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні методи. Досліджено зміни активної і титрованої кислотностей, а також співвідношення між молочнокислими мікроорганізмами та дріжджами при різних температурах сквашування молочної суміші. Встановлено оптимальні режими сквашування молока під дією мікробної асоціації «тибетський грибок», завдяки чому був отриманий високоякісний кисломолочний напій з чудовими органолептичними показниками.

Ключові слова: технологія, мікробна асоціація, тибетський грибок, дріжджі, молочнокислі бактерії, оцтовокислі мікроорганізми, молоко, сквашування.

Вступ

Молочні продукти були важливими харчовими продуктами для різних цивілізацій. Їх вживали трипільці, скіфи, стародавні греки, римляни та єгиптяни. Але, в середні віки про нього забули як про лікувальний продукт. Проте з XVI ст. молоко почали застосовувати у лікуванні людей при бронхіальній астмі, бронхіті, плевриті, туберкульозі, цирозі печінки, ожирінні, захворюваннях шлунку, серця, нирок і т.д. (*Трохи історії…, n.d.*).

Важливою властивістю молока є здатність до сквашування під дією молочнокислих бактерій. У результаті утворюються кисломолочні напої, які позитивно впливають на фізіологічні процеси організму (*Наговська та ін., 2023*; *Соловйова та ін., 2017*).

Серед кисломолочних напоїв особливої уваги заслуговують такі, які отримують завдяки використанню природних мікробних асоціацій. Зараз активно цікавляться фізіологічно активними природними симбіотичними мікробними асоціаціями. До них належать «чайний гриб», «тибетський грибок», «морський рисовий грибок» й ін. Через просте культивування та здатність підтримання в активному стані культури протягом довгого часу стали розповсюдженими у побуті (*Вічко, 2015а*; *Вічко та ін., 2006*; *Клеп та ін., 2010*).

Виходячи з цього, використання «тибетського грибка» для виготовлення кисломолочних напоїв є актуальним та перспективним, а також має важливе науково-практичне значення.

Предметом дослідження були параметри технологічного процесу виробництва кисломолочного напою з використанням природної мікробіоти «тибетський гриб».

Об'єктом дослідження була технологія кисломолочного напою, виготовленого з використанням «тибетського гриба».

Метою даного дослідження є використання «тибетського грибка» для виготовлення кисломолочного напою.

Виходячи з поставленої мети були вироблені такі завдання дослідження:

- здійснити теоретичний аналіз виготовленого кисломолочного напою на основі «тибетського грибка»;
- визначити оптимальні технологічні параметри виробництва;
- визначити показники якості готового кисломолочного напою.

Для досягнення мети і вирішення поставлених завдань дослідження були використані такі наукові методи як органолептичні, фізико-хімічні й мікробіологічні.

Огляд літератури

Кисломолочні напої мають високі харчові, дієтичні та лікувально-профілактичні властивості, легко засвоюються, характеризуються приємним і дещо освіжаючим смаком, а також поліпшують загальний стан організму (*Соломон та ін., 2019*). Кисломолочні продукти володіють бактерицидними властивостями. Їх лікувальні якості зумовлені корисною мікрофлорою, молочною кислотою, антибіотичними речовинами (нізин, булгарікум, лактобревін, диплококцин, ацидофілін та ін.), що знищують збудники тифу, туберкульозу, дифтерії й інших захворювань (*Сливка та ін., 2019*; *Zare Mirzaei et al., 2018*).

Засвоюваність речовин кисломолочних напоїв вища, ніж молока, з якого вони виготовлені. При споживанні цих продуктів стимулюється виділення шлункового соку,

підвищується апетит, інтенсивно виділяються ферменти, які прискорюють засвоєння їжі (*Ying et al., 2018*). До складу кисломолочних напоїв входять живі молочнокислі бактерії, які здатні приживатися у шлунково-кишковому тракті та пригнічувати розвиток гнильної мікрофлори (*Гачак та ін., 2021*; *Сливка та ін., 2018b*).

Зростання інтересу споживачів до цих продуктів зумовлено доведенням позитивного впливу на організм (*Сливка та ін., 2018a*; *Aryana & Olson, 2017*; *Nagovska et al., 2018*). Зараз споживач є вимогливим до продуктів раціону. Потяг споживачів до «здорової їжі» підштовхує виробників харчових продуктів до пошуку нових джерел сировини та до створення функціональних продуктів.

Молочні продукти, що виробляються із використанням молочнокислих бактерій, вважаються основою функціонального харчування (*Дідух та ін., 2008*). Вони містять білки, жири і вітаміни у легкодоступній для засвоєння формі. При їх виготовленні використовуються мікроорганізми, що володіють різними функціональними властивостями (*Капрельянц та Іоргачова, 2003*). Систематичне вживання кисломолочних напоїв покращує здоров'я та підвищує стійкість до інфекцій (*Наговська та ін., 2017*).

Існує низка досліджень стосовно одержання функціональних кисломолочних продуктів, які містять живі мікроорганізми, які виконують функції пробіотиків і нормалізують склад та біологічну активність мікрофлори травного тракту людини (*Патент 37679…, 2006*). Проте, переважно ці дослідження стосуються продуктів на основі чайного гриба, йогуртів і кефірів (*Вічко, 2015b*; *Вічко та ін., 2006*; *Клеп та ін., 2008*).

Зокрема, у роботі (*Клеп та ін., 2008*) описано дослідження щодо використання мікробної асоціації «морський рисовий грибок» для отримання ферментованого напою типу квас.

Літературні дані (*Abaci et al., 2022*; *De Miranda et al., 2022*) свідчать про цінний біологічний вплив «чайного гриба» на здоров'я людини. Комбуча є кисло-солодким напоєм, виготовленим шляхом ферментації чорного або зеленого чаю *Camellia sinensis* і біоплівки целюлози, що містить симбіотичну культуру бактерій і дріжджів (SCOBY). «Чайний гриб» складається з симбіозу оцтовокислих бактерій, молочнокислих бактерій і осмофільних дріжджів (*Dutta & Paul, 2019*). Цей «гриб» є джерелом комплексу вітамінів групи В, поліфенолів і органічних кислот. «Чайний гриб» також готують з деякими іншими альтернативними субстратами, що призводить до варіацій у його складі. Зокрема, можлива ферментація культури «чайного гриба» на трав'яних настоях, фруктовому соці, молоці, сої та нетрадиційній харчовій рослині (*Malvaviscus arboreus*) (*Kanurić et al., 2018*; *Silva et al., 2021*).

Також проводились експериментальні дослідження щодо доцільності використання пробіотиків не лише як харчових продуктів та лікувально-профілактичних засобів, але і як кормових профілактичних добавок для вигодовування сільськогосподарських тварин (*Вічко та ін., 2014b*; *Коцюмбас та ін., 2003*; *Vichko et al., 2013*).

«Тибетський грибок» – це симбіоз бактерій роду Зооглея (лат. *Zoogloea*, від ст.-грецької ζῷον – «тварина» і γλοιός – «липка речовина»). Зооглея складається з полісахаридів, іноді з домішками азотистих сполук. Зооглея може бути пальцевидної, коралоподібної, брижової або іншої форм. Зооглея є родом грамнегативних та аеробних мікроорганізмів, біоценозом мікроорганізмів з спільною слизовою або гелеподібною капсулою. Вона є

постійною або тимчасовою колоїдною спільнотою з різних мікроорганізмів з метою співпраці, захисту від найпростіших, відтворення живлення за допомогою утворення колоїдної гелеподібної капсули, яка має рівномірний гідростатичний тиск. Зооглеї ростуть на багатих на поживні речовини середовищах, зокрема добре ростуть на молоці. У природі існують симбіотичні співвідношення різних культур – синтрофія. При синтрофії вид живе за рахунок іншого виду. В англомовній літературі ця співпраця називається SCOBY – symbiotic culture of bacteria and yeast, а у вітчизняній літературі – зооглея (*Синтрофія, н.д.*).

Утворення зооглея, очевидно, носить пристосувальний характер: завдяки її слизовій консистенції легко здійснюється адсорбція з води поживних речовин, необхідних для існування бактерій. У природі дуже багато різновидів зооглея, однак, одомашнені та найбільш вивчені лише три види: «морський рис», «чайний гриб» і «тибетський гриб». Всі ці три зооглеї – абсолютно різні культури, зі своїми особливостями та будовою. Властивості всіх зооглей різні, але їх об'єднує те, що всі вони містять оцтовокислі бактерії. Напої, отримані за допомогою цих зооглей, можна використовувати не лише в харчових цілях. Настої «чайного гриба» та «морського рису» використовують для боротьби з різними захворюваннями шкіри (*Що таке зооглея, н.д.*).

«Тибетський грибок» являє собою не єдиний організм, а асоціативним консорціумом різних таксономічних груп мікроорганізмів, тобто цілий комплекс взаємопов'язаних мікроорганізмів, що утворюють симбіоз – скупчення різноманітних молочнокислих бактерій, дріжджових грибів і оцтовокислих бактерій (*Вічко та ін., 2014а*).

Напої виготовлені на основі «тибетського гриба» володіють широкою гамою корисних властивостей: покращують травлення, відновлюють обмін речовин; покращують функції печінки та жовчовивідних шляхів; допомагають при захворюванні нирок та сечового міхура; покращують серцеву діяльність тощо (*Коцюмбас та ін., 2003*; *Патент на корисну модель…, 2013*).

Проте, не зважаючи на те, що людству відомо про природний симбіоз «тибетський грибок», про напій, виготовлений на основі цього грибка, сьогодні у промислових масштабах не використовують цю мікробну асоціацію для виготовлення молочних напоїв.

Матеріали та методи досліджень

На першому етапі вивчали властивості мікробного симбіозу «тибетський грибок». У другій серії експериментів вивчали перебіг процесів під час сквашування молочної суміші. Останній етап стосувався дослідження органолептичних, фізико-хімічних та мікробіологічних показників готового кисломолочного напою на основі «тибетського грибка». При виконанні роботи використовували загальноприйняті та спеціальні методи досліджень, а саме: органолептичні, фізико-хімічні й мікробіологічні.

Визначення титрованої кислотності у кисломолочному напої проводили згідно ГОСТ 3624-92, активної кислотності (pH) – потенціометричним методом згідно ДСТУ 8550:2015. Визначення масової частки сухих речовин проводили згідно ДСТУ 8552:2015. Органолептичні дослідження включали визначення зовнішнього вигляду, консистенції, смаку, запаху та кольору досліджуваного кисломолочного напою. Мікробіологічні

дослідження проводили згідно ДСТУ 7357:2013. Визначення колонієутворювальних одиниць дріжджів проводили шляхом підраховування колоній, що виросли за температури 25°С згідно ДСТУ ISO 6611/ IDF 94:2007.

Результати досліджень

При виготовленні кисломолочних напоїв важливим є якісний і кількісний склад мікрофлори заквашувальних бакпрепаратів, що застосовуються для сквашування молочної основи. Виходячи з цього, першим етапом досліджень було дослідження властивостей асоціації «тибетський гриб».

Зооглеї виникають внаслідок спонтанного симбіозу. Зооглея є симбіозом лактобактерій, оцтовокислих бактерій та дріжджі. Завдяки дріжджам і специфічному зовнішньому вигляду зооглеї часто називають «грибами». Проте це не правильно, оскільки гриби є окремою категорією. «Тибетський гриб» не має нічого спільного з грибами, окрім своєї назви.

«Тибетський грибок» є подібним на купу зерен, які злиплися. Ці зерна нагадують цвітну капусту. «Тибетський грибок» – складна цілісна система, яка самовідтворюється. Проте, до сьогодні науковці не відтворили життєздатні зерна «тибетського грибка». Також встановлено, що «тибетський грибок» може розмножуватися у соєвому, рисовому та кокосовому молоці.

Мікробіота «тибетський грибок» – це симбіоз мікроорганізмів, які ростуть і швидко розмножуються. До складу «тибетського гриба» входять лактобактерії, оцтовокислі бактерії і дріжджі. Завдяки цьому кисломолочний напій, що є результатом життєдіяльності асоціації «тибетський грибок», є продуктом молочнокислої та алкогольної ферментації та має унікальні властивості. На рисунку (*Рисунок 1*) зображено «тибетський грибок», який використовувався для експериментальних досліджень.

З рисунку (*Рисунок 1*) видно, що дана мікробна асоціація є у формі грудок, які характеризуються різним розміром. Грудочки є білого кольору, без запаху, їх консистенція гумоподібна та пружна. При цьому, грудки складаються з окремих гранул, округлої та овальної форми. Розміри гранул становлять від 1 до 3 мм. Поверхня грудочок є неоднорідною. Грудки дещо подібні на вигляд до кисломолочного сиру. У воді гранули мікробної асоціації «тибетський гриб» осідають на дно, тому це свідчить про те, що густина гранул є більшою за 1000 кг/м^3 (*Рисунок 2*).

У літературі є дані про неможливість зберігання «тибетського грибка» в холодильній камері. Нами проведено дослідження можливості зберігання мікробної асоціації «тибетський грибок» при температурі від 2°С до 6°С. Оптимальними умовами для зберігання виявилось застосування стерильної води для витримування «грибка» у ній. Для тривалого зберігання «тибетського грибка» варто застосовувати глибоке заморожування при температурі –18°С. При цьому стані «тибетський грибок» може зберігатись рік. Після процесу розморожування спостерігалося повне відновлення ферментативних властивостей «тибетського грибка» впродовж кількох перепосадок.

Встановлено, що на розмір грудочок «тибетського грибка» впливає фаза його життєвого циклу. Зокрема, молодий «грибок» має розмір у діаметрі 3-6 мм, а старий – 3-5

см у віці понад два тижні (*Рисунок 3*). З цього рисунку видно, що окремі грудки мають неправильну, трохи округлу форму.

Проведено визначення вмісту сухих речовин у «тибетському грибку». Експериментально встановлено, що вміст сухих речовин становить 12,1% (приблизно як вміст сухих речовин незбираного молока). Зокрема, в молодому «грибку» було 10,6% сухих речовин, у старому «грибку» (на етапі перед поділом) – 13,6%, що на 3% більше. З цього можна зробити висновок про те, що молодий «грибок» може утримувати більше вологи, ніж старий. У результаті життєдіяльності «тибетський грибок» росте та розмножується. А з кожним циклом кількість «грибка» збільшується.

Для розробки технології кисломолочного напою на основі «тибетського грибка» як закваски важливе значення має кількісний і якісний склад його мікрофлори. Морфологія природної асоціації «тибетський гриб»: коки, поодинокі чи у вигляді скупчень, палички поодинокі або у вигляді ланцюжків, дріжджові клітини подовгасті та овальної форми (*Вічко та ін., 2006*). Встановлено, що до складу асоціації «тибетський гриб» входять два типи дріжджових клітин роду *Saccharomyces*, дріжджові клітини *Candida kefir,* молочнокислі бактерії *Lactococcus lactis subsp. lactis, Lactobacillus fermentum*, *Leuconostoc lactis* і *Lactobacillus spp.* та оцтовокислі мікроорганізми *Gluconobacter oxydans* (*Вічко, 2015a*; *Вічко та Новіков, 2008*).

У мікробіоті «тибетський грибок» переважають *Lactobacillus fermentum,* а їх кількість становить близько 90% від усіх мікроорганізмів цього природного симбіозу. На другому місці за кількістю – *Lactobacillus spp.* Їх вміст становить близько 9% від загальної кількості. На *Gluconobacter oxydans* припадає 1,13% від усіх бактеріальних клітин цієї асоціації. Молочнокислі бактерії *Leuconostoc lactis* наявні у кількості 0,69%. *Candida kefir* містяться у ще нижчій кількості (0,09%). *Lactococcus lactis subsp. lactis* і дріжджові клітини роду *Saccharomyces* присутні по 0,01% (*Вічко, 2015b*). Тому, робимо висновок, що найважливішу роль для формування кисломолочного напою на основі цієї зооглеї відіграють бактерії роду *Lactobacillus*, оскільки їх вміст у «тибетському грибку» становить близько 99%.

При сквашуванні молочної суміші внаслідок розвитку мікрофлори накопичується молочна кислота, що відбивається на показнику титрованої кислотності. Для детального вивчення динаміки сквашування при різних температурних режимах нами було побудовано відповідні графіки (*Рисунок 4*). На рисунку подані ізотерми з кроком 2°С. Як видно з графіків, протягом всього експерименту відзначалося зростання титрованої кислотності. Можна констатувати, що зростання кислотності залежало від температури сквашування молочної суміші. Титрована кислотність була найвищою у зразках продукту з найбільшою температурою сквашування, тобто при 30°С. Відповідно найнижчою була кислотність при найнижчій температурі сквашування – 20°С. Варто зазначити, що найактивніше відбувалось кислотоутворення в перші шість годин від початку сквашування за допомогою «тибетського грибка». На 12-ту годину сквашування титрована кислотність була на рівні 76,7-88,2°Т.

Крім того, проведено дослідження динаміки активної кислотності впродовж перших 12-ти год. сквашування молочної суміші. Слід зазначити, що протягом усього процесу спостереження відбувалося спадання показника pH. Також виявлена залежність активної кислотності від температури сквашування. Зокрема, чим вищою була температура сквашування, тим нижчою була активна кислотність.

Встановлено, що оптимальною температурою для заквашування молочної суміші «тибетським грибком» є від 26°С до 28°С. Оптимальною кількістю «грибка» є 2,5-3% від маси заквашуваної суміші. Під час сквашування проходять процеси молочнокислого бродіння, коагуляції казеїнів, розмноження мікробіоти «тибетського грибка», внаслідок чого маса «грибка» збільшується. Після кожного сквашування грудки «тибетського грибка» потрібно промивати водою. Визрівання кисломолочного напою слід проводити при температурі 14°С впродовж 9-12 год. до максимальної титрованої кислотності 120°Т.

Важливим показником пробіотичних властивостей кисломолочного напою є співвідношення кількості молочнокислих бактерій та дріжджів. Тому нами проведено дослідження щодо визначення вмісту цих мікроорганізмів у готовому кисломолочному напої, виготовленому з використанням мікробіоти «тибетський грибок» (*Таблиця 2*).

Як видно з таблиці (*Таблиця 2*), оптимальним було співвідношення між лактобактеріями і дріжджами в готовому напої, виготовленому з використанням «тибетського гриба», лише при сквашуванні за температур 26-30°С. Нижчі температури сквашування активізували розвиток дріжджів, але вміст молочнокислих бактерій при цьому був нижчим за норму. Найоптимальнішою температурою для розвитку дріжджів виявилась 20°С, а для лактобактерій – 30°С.

У процесі ферментації молочної суміші значних змін зазнають смак та запах. Тому нами проведено дослідження органолептичних характеристик кисломолочного напою, виготовленого з використанням мікробіоти «тибетський грибок». Проводилось визначення таких органолептичних показників, як зовнішній вигляд, консистенція, запах, смак і колір.

Паралельно з органолептичною оцінкою кисломолочного напою, виготовленого з використанням «тибетського грибка», для порівняння досліджували органолептичні показники кефірів, придбаних у торгівельній мережі. Перед дослідженням кисломолочний напій і куплені кефіри старанно перемішували та наливали у прозорі склянки. Оцінку органолептичних характеристик здійснювали за 9-ти бальною шкалою. Передбачено на оцінку зовнішнього вигляду і консистенції відводити максимально 2 бали, на запах – 2 бали, на смак – 4 бали та на колір – 1 бал. Проведена дегустаційна оцінка показала, що кисломолочний напій, виготовлений з «тибетським грибком» за органолептичними показниками не поступався комерційним зразкам кефіру. Органолептичні показники досліджуваного напою наведені в таблиці (*Таблиця 1*).

Слід зазначити, що титрована кислотність готового кисломолочного напою, виготовленого з використанням для заквашування і сквашування мікробіоти «тибетського грибка», становила 92,4°Т, що є у межах норми, зазначеної у ДСТУ 4417:2005. Також показник активної кислотності готового напою був у межах норми і становив 4,71 од. pH.

Було проведено визначення вмісту молочнокислих мікроорганізмів та дріжджів у готовому кисломолочному напої, виготовленому з використанням зооглеї «тибетський грибок». Аналіз показав, що вміст лактобактерій у напої становив $2{,}42 \cdot 10$ КУО/см^3, а вміст дріжджів – $2{,}71 \cdot 10^4$ КУО/см^3.

Обговорення

Даними дослідженнями встановлено доцільність застосування мікробіоти «тибетський грибок» для виготовлення кисломолочного напою. Це дозволить розширити асортимент кисломолочних продуктів із корисними властивостями.

«Тибетський грибок» подібний на купу зерен, що схожі до цвітної капусти. До його складу входять лактобактерії, оцтовокислі бактерії і молочні дріжджі. Завдяки цьому кисломолочний напій, який є результатом життєдіяльності асоціативного консорціуму «тибетський грибок», є продуктом молочнокислого та спиртового бродіння і має унікальні властивості. «Грибок» має форму грудочок різних розмірів, білого кольору, гумоподібної та пружної консистенції, які складаються з окремих гранул, округлої та овальної форми. На розмір грудочок впливає фаза життєвого циклу. Це не розходиться з практичними даними, отриманими у роботах інших авторів (*Вічко та ін., 2007*; *Воробець та ін., 2008*; *Kukhtyn et al., 2018*).

У літературі є дані про неможливість зберігання «тибетського грибка» в холодильній камері. Нами проведені дослідження щодо можливості зберігання «грибка» при температурі 2-6°С у стерильній воді. А для тривалого зберігання варто застосовувати глибоке заморожування. На основі проведених експериментів встановлено вміст сухих речовин у «тибетському грибку». Також вивчено залежність титрованої та активної кислотностей від температури сквашування молочної суміші. Отримані дані стосовно впливу температури на співвідношення між лактобактеріями і дріжджами у готовому напої. Визначено показники якості готового продукту.

Недолік цього дослідження полягає у тому, що воно фокусується лише на процесі сквашування молочної суміші за допомогою «тибетського грибка» та визначенні показників якості готового кисломолочного напою. Не було проведено дослідження наростання біологічної маси мікробіоти «тибетський грибок» при культивуванні в молоці. Також не досліджено змін кисломолочного напою під час зберігання. Термін зберігання є надзвичайно важливим, як для споживачів, так і для виробників харчових продуктів. Він включає в себе період часу, протягом якого продукт зберігає характерні органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні та функціональні характеристики, а також залишається безпечним для споживання (*Основні фактори…, 2022*). Таким чином, подальшими напрямками для наукових досліджень є вивчення наростання біологічної маси мікробіоти «тибетський грибок» при різних температурах культивування в молоці, а також проведення дослідження змін властивостей напою під час зберігання та визначення терміну його зберігання.

Висновки

Таким чином, на основі огляду наукової літератури встановлено, що є актуальним дослідження можливості застосування природної мікробної асоціації «тибетський грибок» при виготовленні кисломолочних напоїв.

Вивчено властивості мікробіоти «тибетський грибок». Здійснено теоретичний аналіз виготовленого кисломолочного напою на основі «тибетського грибка». Досліджено зміни активної і титрованої кислотностей, а також співвідношення між молочнокислими мікроорганізмами та дріжджами при різних температурах сквашування молочної суміші.

Встановлено оптимальні технологічні параметри виробництва кисломолочного напою з використанням «тибетського грибка»: заквашування і сквашування при температурі 26-28°С протягом 12-ти год., визрівання при температурі 14°С тривалістю 9-12 год. до максимальної титрованої кислотності 120°Т.

Досліджено органолептичні, фізико-хімічних та мікробіологічні показники якості готового напою. Кисломолочний напій мав молочно-білий колір, рівномірний за всією масою та чистий, кисломолочний освіжаючий смак. Консистенція напою була однорідна, сметаноподібна, з порушеним згустком. Спостерігалося газоутворення з наявністю поодиноких вічок.

Кисломолочні напої, виготовлені з використанням зооглеї «тибетський грибок» можуть позитивно впливати на корегування раціону харчування населення, усуваючи дефіцит поживних речовин.

Конфлікти інтересів

Автори заявили, що конфлікту інтересів немає.

Список джерел інформації:

Вічко, О. І. Біотехнологія одержання пробіотичної кисломолочної добавки на основі природної асоціації «тибетський грибок» (Автореф. дис. канд. техн. наук: 03.00.20). Київ: Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т», 2015a. [Vichko, O. I. (2015). Biotechnology for cultivating probiotic sour milk supplement based on natural association of *Lactomyces tibeticus* [Dissertation abstract of the Candidate of Technical Sciences]. Kyiv: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". (In Ukrainian)]

Вічко, О. І. Біотехнологія одержання пробіотичної кисломолочної добавки на основі природної асоціації «тибетський грибок» (Дисертація кандидата технічних наук: 03.00.20). Київ: Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т», 2015b. [Vichko, O. I. (2015). Biotechnology for cultivating probiotic sour milk supplement based on natural association of *Lactomyces tibeticus* [Dissertation of the Candidate of Technical Sciences]. Kyiv: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". (In Ukrainian)]

Вічко, О. І., Червецова, В. Г., Новіков, В. П. Застосування пробіотичної добавки на основі природної асоціації «тибетський грибок» // Біотехнологія XXI століття: тези доповідей VIII Всеукр. наук.-практ. конф., присвяченої 200 річниці з дня народження Т.Г. Шевченка (25 квітня 2014 р.). – 2014a. Київ. [Vichko, O. I. et al. (2014a). The use of a probiotic supplement based on the natural association Lactomyces tibeticus. *Biotechnology of the 21st century: theses of reports of the 8th All-Ukrainian Congress. Science and Practice Conference Dedicated to the 200th Anniversary of the Birth of T.G. Shevchenko* (25 April 2014). (In Ukrainian)]

Вічко, О. І., Кухтин, М. Д., Новіков, В. П. Мікробіологічна характеристика пробіотичної кисломолочної добавки з асоціації культури «тибетський грибок» та вплив її на кишковий мікробіоценоз поросят // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнології імені С.З. Ґжицького. Серія

«Харчові технології». – 2014b. – Т. 16. – Вип. 2(59). – Ч. 4. – С. 20-25. [Vichko, O. I. et al. (2014b). Microbiological characteristics of the probiotic fermented milk supplement from the *Lactomyces tibeticus* culture association and its effect on the intestinal microbiocenosis of piglets. *Scientific bulletin of Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv. Series: Food technologies*, *16, 2*(59), 4, 20-25. (In Ukrainian)]

Вічко, О. І., Новіков, В. П. Визначення складових мікробіологічної асоціації «тибетський гриб» // Vêda techlogie: krok do budauchosti: Materialy IV mezin. vêdecko-prakt. conf. (1-15 brezen 2008 r.). – 2008. – С. 36-38. – Praha: Education and Science. [Vichko, O. I., & Novikov, V. P. (2008). Determination of components of the microbiological association *Lactomyces tibeticus*. *Vêda techlogie: krok do budauchosti*: *Materialy IV mezin. vêdecko-prakt. conf. (March 1-15, 2008)*, 36-38. (In Ukrainian)]

Вічко, О. І., Червецова, В. Г., Комаровська-Порохнявець, О. З., Стадницька, Н. Є., Швед, О. В., Новіков, В. П. Пошук нових продуцентів функціональних молочнокислих напоїв на базі нетрадиційних мікробних асоціацій // Биотехнология. Образование. Наука. Практика: сборник тезисов III Всеукр. науч.-практ. конф. с межд. участием (18-19 октября 2006 г.). – 2006. – С. 89. Харків. [Vichko, O. I. et al. (2006). Search for new producers of functional lactic acid drinks based on non-traditional microbial associations. *Biotechnology. Education. The Science. Practice: Collection of Theses of the 3rd All-Ukrainian Scientific-Practical Conference with International Participation* (October 18-19, 2006), 89. (In Ukrainian)]

Вічко, О. І., Щеглова, Н. С., Червецова, В. Г., Губрій, З. В., Новіков, В. П. Дослідження морфології мікробної асоціації «тибетського грибка» // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія «Хімія, технологія речовин та їх застосування». – 2007. – Вип. 590. – С. 125-127. [Vichko, O. I. et al. (2007). Study of the morphology of the microbial association of the *Lactomyces tibeticus*. *Bulletin of the National Lviv Polytechnic University. Series "Chemistry, Technology of Substances and Their Application"*, *590,* 125-127. (In Ukrainian)]

Воробець, Н. І., Вічко, О. І., Червецова, В. Г., Щеглова, Н. С., Новіков, В. П. Природна асоціація «тибетський грибок» як потенційний промисловий продуцент функціонального молочнокислого напою // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Хімія, технологія речовин та їх застосування». – 2008. – Вип. 622. – С. 107-112. [Vorobets, N. I. et al. (2008). Natural association *Lactomyces tibeticus* as a potential industrial producer of functional lactic acid drink. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Series "Chemistry, Technology of Substances and Their Application"*, *622*, 107-112. (In Ukrainian)]

Гачак, Ю. Р., Михайлицька, О. Р., Гутий, Б. В., Ваврисевич, Я. С. Нові види солодких кисломолочних напоїв з маслянки із фітосиропами "Горіховий" та "Мигдаль" // Colloquium-journal. – 2021. – Вип. 6 (103). – Część 1. – С. 23-25. [Hachak, Yu. R. et al. (2021). New types of sweet sour milk drinks from buttermilk with "Walnut" and "Almond" phytosyrups. *Colloquium-journal*, *6*(103), 1, 23-25. (In Ukrainian)]. https://doi.org/10.24412/2520-6990-2021-16103-23-25

Дідух, Н. А., Чагаровський, О. П., Лисогор, Т. А. Заквашувальні композиції для виробництва молочних продуктів функціонального призначення: Монографія. Одеса: ОНАХТ, 2008. [Didukh, N. A. et al. (2008). *Leavening compositions for the production of*

functional dairy products: *Monograph.* Odesa: ONAFT. (In Ukrainian)]

Капрельянц, Л. В., Іоргачова, К. Г. *Функціональні продукти*. Одеса: Друк, 2003. [Kapreliants, L. V., & Iorhachova, K. H. (2003). *Functional products*. Odesa: Druk. (In Ukrainian)]

Клеп, О. В., Червецова, В. Г., Стадницька, Н. Є., Губрій, З. В., Швед, О. В. (2008). Оптимізація біотехнології функціональних напоїв «чайного гриба» та «морського гриба» // Конф. з Міжнарод. уч. «Актуальні проблеми синтезу і створення нових біологічно активних та фармацевтичних препаратів». – 2008. – С. 237. Львів: НУ ЛП. [Klep, O. V. et al. (2008). Biotechnology optimization of functional drinks Kombucha and Lactomyces sea. *Conference of International Student "Actual Problems of Synthesis and Creation of New Biologically Active and Pharmaceutical Preparations"*, 237. (In Ukrainian)]

Клеп, О. В., Червецова, В. Г., Губрій, З.В., Швед, О.В., Новіков, В.П. (2010). Морфолого-фізіологічні характеристики природної асоціації «чайний грибок» // Вісн. Нац. Ун-ту «Львів. політехніка». – 2010. – Вип. 667. – С. 176-181. [Klep, O. V. et al. (2010). *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University*, *667*, 176-181. (In Ukrainian)]

Коцюмбас, І. Я., Рожко, М. С., Кушнір І. М. (2003). Застосування пробіотиків у ветеринарній медицині // Ветеринарна медицина України. – 2003. – Вип. 10. – С. 15-17. [Kotsiumbas, I. Ya. et al. (2003). *Application of probiotics in veterinary medicine. Veterinary medicine of Ukraine, 10,* 15-17. (In Ukrainian)]

Наговська, В. О., Білик, О. Я., Михайлицька, О. Р., Сливка, Н. Б. (2023). Розробка технології кисломолочного напою з безглютеновими злаками // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. Серія: Технічні науки. – 2023. – Вип. 3. – С. 5-12. [Nahovska, V. O. et al. (2023). Development of the technology of fermented milk drink with gluten-free cereals. *Scientific Bulletin of the Poltava University of Economics and Trade. Series: Technical Sciences, 3*, 5-12. (In Ukrainian)]. https://doi.org/10.37734/2518-7171-2023-3-1

Наговська, В. О., Гачак, Ю. Р., Михайлицька, О. Р., Сливка Н. Б. (2017). Застосування пшеничних висівок, як функціонального інгредієнта, в технології кефіру // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького. Серія: «Харчові технології». – 2017. – Т. 19. – Вип. 80. – С. 52-56. [Nahovska, V. O. et al. (2023). Application of wheat bran as a functional ingredient in kefir technology. *Scientific bulletin of Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv. Series: Food Technologies, 19*(80), 52-56. (In Ukrainian)]. https://doi.:10.15421/nvlvet8011

Основні фактори, що впливають на псування та термін зберігання харчових продуктів. 2022. [The main factors affecting the spoilage and shelf life of food products (2022). (In Ukrainian)]. https://buklib.net/books/36108/

Патент на корисну модель 87101 Україна, МПК A 61 K 35/74. Кисломолочна кормова добавка «тибетський грибок» для нормалізації кишкової мікрофлори поросят. О.І. Вічко, В.Г. Червецова, В.П. Новіков, & М.Д. Кухтин. № u201308248; заявл. 1.07.2013; опубл. 27.01.2014. *Бюл. № 2*. [Utility model patent 87101 Ukraine, IPC A 61 K 35/74. Sour milk feed additive *Lactomyces tibeticus* for the normalization of the intestinal microflora of piglets. O.I. Vichko et al. No. u201308248; stat. 1.07.2013; publ. 27.01.2014. *Bul. 2*. (In Ukrainian)]

Патент 37679.UA. МПК. U 2008 06639. Спосіб виробництва біфідовмісного молочного напою з оздоровчими властивостями. Н.А. Дідух, Т.А. Лисогор; заявник і патентовласник Одеська національна академія харчових технологій. заявл. 15.05.2008; опубл. 10.12.2008. *Бюл. № 23*, 8 с. [Patent 37679.UA. IPC. (2008). U 2008 06639. Method of production of bifid-containing milk drink with health-improving properties. N.A. Didukh, & T.A. Lysohor; the applicant and patent owner Odesa National Academy of Food Technologies. stat. 15.05.2008; publ. 10.12.2008. *Bul. 23*, 8. (In Ukrainian)]

Синтрофія. [Syntrophy. (n.d.) (In Ukrainian)]. https://www.wikidata.uk-ua.nina.az/%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%84%D1%96%D1%8F.html

Сливка, Н. Б., Білик, О. Я., Михайлицька, О. Р., Гачак, Ю. Р. Дослідження змін окремих фізико-хімічних показників йогуртів при використанні концентратів сироваткових білків // Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Ґжицького. Серія: «Харчові технології». – 2019. – Т. 21. – Вип. 91. – С. 162-166. [Slyvka, N. B. et al. (2019). Study of changes in individual physicochemical indicators of yogurts when using whey protein concentrates. *Scientific bulletin of Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv. Series: Food Technologies, 21, 91*, 162-166. (In Ukrainian)]. https://doi.:10.32718/nvlvet-f9127

Сливка, Н. Б., Михайлицька, О. Р., Гачак, Ю. Р. (2018a) Розроблення технології кефіру із грушею та корицею. International Multidisciplinary Conference "Science and Technology of the Present Time: Priority Development Directions of Ukraine and Poland" (Wolomin, Republic of Poland, 19-20 October, 2018). – 2018a. – Вип. 1. – С. 109-112. Wolomin: Izdevnieciba "Baltija Publishing". [Slyvka, N. B. et al. (2018a) Development of kefir technology with pear and cinnamon. *International Multidisciplinary Conference "Science and Technology of the Present Time: Priority Development Directions of Ukraine and Poland"*, *1,* 109-112 (Wolomin, Republic of Poland, October 19-20, 2018). (In Ukrainian)]

Сливка, Н. Б., Михайлицька, О. Р., Наговська, В. О., Білик, О. Я. Використання грушевих наповнювачів у технології кефіру // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького. – 2018b. – Т. 20. – Вип. 90. – С. 63-68. [Slyvka, N. B. et al. (2018b). Use of pear fillers in kefir technology. *Scientific bulletin of Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, *20, 90,* 63-68. (In Ukrainian)]. https://doi.org/10.32718/nvlvet9013

Соловйова, А. В., Калюжная, О. С., Стрілець, О. П., Стрельников, Л. С. Вивчення показників ефективності деяких функціональних напоїв // Сучасні досягнення фармацевтичної технології і біотехнології: збірник наукових праць. – 2017. – Вип. 2. – С. 175-179. Харків: Вид-во НФаУ. [Soloviova, A. V. et al. (2017). Study of performance indicators of some functional drinks. *Modern Achievements of Pharmaceutical Technology and Biotechnology: Collection of Scientific Works, 2*, 175-179. (In Ukrainian)]

Соломон, А. М., Полєвода, Ю. А. Пробіотики і їх роль у виробництві кисломолочних продуктів спеціального призначення // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2019. – Вип. 106. – № 3. – С. 56-65. [Solomon, A. M., & Polievoda, Yu. A. (2019). Probiotics

and their role in the production of special purpose fermented milk products. *Technology, Energy, Transport of Agricultural Industry*, *106*(3), 56-65. (In Ukrainian)]

Трохи історії про молоко. [A little history about milk. (n.d.) (In Ukrainian)]. http://um.co.ua/6/6-11/6-118710.html

ІЩо таке зооглея. [What is zooglea? (n.d.). (In Ukrainian)]. https://uk.about-mushrooms.com/177-what-is-zooglea

Abaci, N. et al. (2022). Kombucha – An ancient fermented beverage with desired bioactivities: A narrowed review. *Food chemistry: X*, *14*, 100302. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100302

Aryana, K. J., & Olson, D. W. (2017). A 100-Year Review: Yogurt and other cultured dairy products. *Journal of Dairy Science, 100*(12), 9987-10013 https://doi.org/10.3168/jds.2017-12981

De Miranda, J. F. et al. (2022). Kombucha: A review of substrates, regulations, composition, and biological properties. *Journal of Food Scientific Technologies, 87,* 503-527. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16029

Dutta, H., & Paul, S. K. (2019). Kombucha drink: Production, quality, and safety aspects. *Production and Management of Beverages*. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815260-7.00008-0

Kanurić, K. G. et al. (2018). Kinetics of lactose fermentation in milk with kombucha starter. *Journal of Food and Drug Analysis*, *26*(4), 1229-1234. https://doi.org/10.1016/j.jfda.2018.02.002

Kukhtyn, M. et al. (2018). Some probiotic characteristics of a fermented milk product based on microbiota of "Tibetan kefir grains" cultivated in Ukrainian household. *Journal of Food Scientific Technologies*, *55*(1), 252-257. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2931-y

Nagovska, V. O. et al. (2018). Influence of thistle grist on organoleptic, physico-chemical and microbiological parameters of kefir. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Ґжицького.* Львів, *Т. 20, № 85,* с. 166-170. [*Scientific Bulletin of the Lviv National University of Veterinary Medicine and biotechnology named after S. Z. Gzhytsky. Lviv*, *20*(85), 166-170] https://doi.org/10.15421/nvlvet8530

Silva, K. A. et al. (2021). Kombucha beverage from non-conventional edible plant infusion and green tea: Characterization, toxicity, antioxidant activities and antimicrobial properties. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, *34 (2021),* 1-9. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102032

Vichko, O. et al. (2013). Microbiological Characteristics of Sour-Milk Feed Supplements and their Influence in Intestinal Micro-Biocenosis of Piglets. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, *4*(4), 1404-1410

Ying, S. et al. (2018). Nutritional Effects and Antimicrobial Activity of Kefir (Grains). *J. Milk Sci. Biotechnol., 36 (1),* 1-13.

Zare Mirzaei, E. et al. (2018). Antimicrobial properties of lactic acid bacteria isolated from traditional yogurt and milk against Shigella strains. *GMS Hyg Infect Control.*, 13: Doc01. https://doi.org/10.3205/dgkh000307

Додатки

Рисунок 1. Природна мікробна асоціація «тибетський грибок»

Рисунок 2. «Тибетський грибок» у воді

Рисунок 3. Вигляд окремих грудок «тибетського грибка»

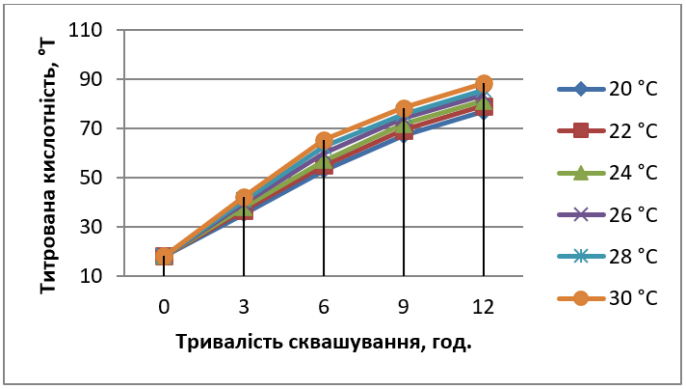


Рисунок 4. Динаміка титрованої кислотності під час сквашування напою

Таблиця 1. Органолептична оцінка кисломолочного напою на основі «тибетського грибка»

Найменування показника	Характеристика
Зовнішній вигляд та консистенція	Однорідна, сметаноподібна, з порушеним згустком. Спостерігається газоутворення з наявністю поодиноких вічок, яке спричинене нормальною життєдіяльністю мікрофлори
Смак та запах	Чистий, кисломолочний. Смак освіжаючий, без сторонніх присмаків і запахів
Колір	Молочно-білий, рівномірний за всією масою

Таблиця 2. Загальний вміст молочнокислих бактерій і дріжджів у кисломолочному напої

Температура сквашування, °С	Вміст, КУО/1 см^3	
	молочнокислих мікроорганізмів	дріжджів
20	$6{,}73 \cdot 10^2$	$1{,}72 \cdot 10^5$
22	$2{,}75 \cdot 10^4$	$9{,}41 \cdot 10^4$
24	$4{,}54 \cdot 10^6$	$6{,}12 \cdot 10^4$
26	$1{,}38 \cdot 10^8$	$4{,}46 \cdot 10^4$
28	$2{,}42 \cdot 10^8$	$2{,}71 \cdot 10^4$
30	$3{,}87 \cdot 10^8$	$2{,}46 \cdot 10^3$

DOI 10.47451/inn2024-06-02

Oksana A. Mykaylo[23]

Innovative mobile solutions for vertical greenery in cities [11]

Abstract: The process of urbanization of cities is accelerating every year. However, it is often accompanied by the deterioration of the ecological situation in cities, caused primarily by the loss of green areas. That is why vertical greening of territories has gained popularity as a way to maximize limited space and bring greenery into the urban environment. This work considers the concept of spreading vertical greening of facades, exploited green roofs, and city territories, for which the mobile landscaping structures are proposed as a means that can provide a significant improvement in the air quality of cities and lead to a reduction in electricity costs for air conditioning due to lowering the temperature of walls and roofs of green buildings. In addition, the possibility of using biochar like the composition of soils for vertical gardening and its contribution to a more ecological approach to gardening is being investigated. Economic calculations of the implementation of a mobile vertical greenery system, considering various factors associated with the costs of its installation, operation, and maintenance, showed a payback period of eight production cycles (at a constant market price). The system can operate for two calendar years without major maintenance or repairs. The use of biochar as a part of the soil mixture increases the adaptability of plants and their rapid growth, which financially justifies its use. Also, the proposed mobile greenery systems contribute to the creation of more sustainable, healthy, and comfortable urban spaces, which makes them an important component of modern urban planning and ecodesign. It is shown that 100 such mobile systems in cities provide a total of 750 sq. m of intensive landscaping.

Keywords: vertical greenery systems; biochar, mobile constructions, urban planning, ecodesign.

Introduction

Currently in cities and other urbanized areas, the use of Vertical Greenery Systems (VGS) and green roofs is steadily increasing due to the situation that the environmental impact of buildings on the internal and external climate is becoming more and more evident (*Newton et al., 2007*; *Wong et al., 2010*; *Perini et al., 2013*). This influence can dictate both the choice of plants and design decisions, like the requirements for the care and operation of vertical greenery systems.

Various techniques of vertical gardening have been used by people for centuries, starting with primitive trellis for growing plants vertically. Over time, the materials used in vertical gardens have evolved from simple wooden structures to more sophisticated systems incorporating modern materials. The concept of innovative materials in vertical gardens is extremely significant for understanding the possibility of using such materials in vertical greenery. First of all, it concerns ecological materials that have a minimal impact on the environment during the entire cycle of use. In the context of vertical gardening, this refers to materials that are renewable, recyclable, and non-toxic (*Alexandri & Jones, 2008*).

The practice of vertical greenery, i.e., adding vegetation to vertical surfaces (walls, facades) and even roofs of buildings, includes installing containers with soil for specially selected plants

near buildings or using special hydroponics systems to grow plants on walls and facades of buildings.

The main aim of these studies was the possible use of practices of vertical greening of cities, like ways to improve the efficiency of structures for this purpose, by changing not only the forms but also filling containers with soil with the addition of biochar, as one of the most ecological and suitable materials for improving hydrophilic properties of soils.

Technologies for constructing green walls allow to identify and classify greenery systems according to their construction technique and main characteristics. Two main classifications of vertical greenery systems are used: living walls (LWS) and green facades (GFS) (*Saadatian, 2013*; *Koyama, 2018*; *Sheweka, S., & Magdy, 2011*). All of them have differences in equipment, and selection of plants, and, accordingly, the choice of growing soil for them depends on this, too.

According to the principles of selection of compositional combinations, vertical greenery is divided into 3 groups: according to functional, ecological, and decorative principles (*Bass & Baskaran, 2003*). Vertical one, according to the functional principle of selection is necessary due to various factors, which can be heat regulation, noise and dust protection, the need for shadow protection, etc. For plants to effectively perform these functions, their natural characteristics are worth considering: plant density, height, and density of leaves. The ecological principle considers as the main factor the weather conditions that are the best for each type of plant, considering the orientation of the building in the cardinal directions, like the temperature, composition, and fertility of soils used during planting. As for the decorative principle, here the vertical greenery main task is the ability to hide the shortcomings of certain buildings or, on the contrary, to emphasize the peculiarity of one or another facade. In this selection, the texture of plant leaves, their density, and the duration of the flowering period are also very significant, directly depending on the quality of the soils used, since they must retain moisture well, first of all.

Technologically, today there are several main systems of vertical greenery, which are divided according to the principle of operation: hydroponic systems; modular systems (using a substrate); and container systems with various plants (*Dunnett & Kingsbury, 2008*). The effectiveness of the last two greenery systems directly depends on the quality of the environment for growing plants, because it is the place, where plant roots find moisture and nutrients.

The medium most often used is light soil, or it can be normal natural soil consisting of decomposed organic matter with added nutrients. Light soil is a mixture of minerals, peat moss, and compost.

External greenery of facades usually has a very attractive appearance. However, it is worth remembering that it needs plants that can withstand external climatic conditions and will be insensitive to fluctuations in the content of water and nutrients in containers for their growth. As a rule, undemanding and hardy liana-like plants and succulents are used for such systems: virgin grapes, Amur grapes, aristolochus, moonseed Daurian, honeysuckle, and ivy of various types.

Since plants need to create comfortable growing conditions, an important task is to optimize the design solutions of greenery systems to ensure full insolation, constant moisture, and high soil nutrition, which in turn can ensure sustainable and long-term plant development. An important role is played by the composition of the soil, which can be varied depending on

specific climatic conditions and the type of plants that will be planted. First of all, such soil must provide good drainage, retain moisture, and be fertile and light, with the possibility of its further adaptation to specific conditions and requirements. It is also worth considering the presence of an additional load on the specific constructions of buildings and structures and the fact that vertical greenery systems are planned with the minimum allowable volumes of soil. These factors increase the importance of components in the composition of soils, and therefore, may play a decisive role in the success of vertical greenery.

The main components that can be included in the composition of the soil for vertical greenery of various structures are humus, peat, coconut fiber, and other components that provide primarily good drainage and water retention. Adding sand can balance these processes and prevent soil compaction. For this purpose, such light materials as vermiculite and perlite are used, which help to improve the processes of moisture retention and soil ventilation, making them looser and more favorable for the root respiration of plants (*Fitts, 2013*).

Adding organic material such as humus or compost can enrich the soil with nutrients and improve its structure. Depending on the type of plants and existing needs, mineral fertilizers can also be added to the soil to provide plants with the necessary macro and microelements. It is also possible to apply hydrogels – absorbents that help retain moisture in the soil, providing plants with moisture in periods of no precipitation.

However, the system functionality can be disrupted if the water supply is exhausted or the irrigation system fails. In our opinion, this shortcoming can be partially eliminated by adding biochar to it – a porous carbon material made from various plants and wood by methods of thermal decomposition and pyrolysis (heating without oxygen). It is believed that biochar is involved in many biological processes in the soil, so increasing its content leads to an increase in soil productivity (*Al-Kodmany, 2018*). Biochar retains most of the trace elements that were in the original biomass. By increasing the holding capacity of the soil, aerating the soil, and releasing nutrients through an increased pH value, biochar can be used as an effective substitute for peat and can be used for certain plants in vertical greenery. The presence of microbial symbiosis allows certain types of plants to obtain nutrients from pores in the structure of biochar (*Mukherjee & Lal, 2013*). The effect of biochar dosing on plant growth was the research subject (*Gale & Thomas, 2019*). It is worth noting that such use was proposed for vertical greenery systems as a whole. Our previous studies (*Kaynts et al., 2023*) mainly concerned the possibility of using ivy of various species as a base plant for mobile vertical greenery.

Thus, the main question of our investigations can be formulated as follows. Is the use of biochar-supplemented soils appropriate for plants grown in the proposed mobile vertical greenery systems? Can additional costs be offset by benefits in the further operation process?

It was assumed that biochar added to the soil composition for our proposed mobile vertical greenery systems would effectively retain moisture, and the additional costs of creating such systems would be compensated by the benefits of their operation in the future.

Materials and Methods

The task of our work was to check these assumptions and determine the effective amount of biochar introduction into the soil mixture, suitable for vertical greenery with ivy of various species, optimization of the dimensions of containers of mobile landscaping systems, and their

possible location in cities. It is worth noting that any landscaping systems are capable of accumulating pollutants over time, which eventually leads to rapid phytodegradation of plants (*Yong Sik Ok et al., 2019*). Systems of vertical greenery, which are not cheap in general, must first of all be stable and durable. Otherwise, all costs for their creation are ineffective, and the green spaces themselves turn into unattractive green areas quite quickly. Thus, the optimization of the composition of the soil and the structures of the vertical greenery system is the driving force for the widespread and effective introduction of vertical landscaping centers in populated areas. It is also worth noting that until now in the literature we have not come across examples of the use of such soil compositions for vertical landscaping within Ukraine.

For our research, we used biochar from Tm Ideale (Ukraine), the main component of which is 92-96% carbon, accumulating in biomass processed by the hydrothermal carbonization method. Soil samples with different biochar content (in the range of 5-50%) were studied under the same conditions of temperature and humidity. An increased drying time was found for all samples. The effective amount of biochar was determined by data envelopment analysis (DEA). It has been experimentally confirmed that replacing 50% of peat with biochar in the soil mixture has a positive effect and prolongs the drying time of the soil. However, additional costs were required due to the cost difference between biochar and peat. It is worth noting that these results are expected to be valid for the climate zones of Central and Eastern Europe.

One of the main problems with vertical greenery is the high initial costs. Installation of special systems, plant support, and maintenance require significant investment. This can make vertical gardening out of reach for small township budgets. However, to a large extent this can be avoided by designing mobile or frame inclusions in the complex green zone of cities, both stationary containers and systems in new buildings, and mobile – small mobile greenery systems.

Thus, this is especially relevant, due to the possibility of cost optimization and unification of the shape and size of such containers, selection of soil composition, and appropriate plants.

Results of the study

In addition to classic vertical landscaping along walls or supports, which cannot always be quickly changed and requires significant material and time costs, the authors (*Kaynts et al., 2023*) proposed the use of a budget design of a vertical greenery system (*Figure 1*), the dimensions of which were determined by the possibility of quick and convenient installation in the central areas of the city, like the variability of its use, as a flower garden or a mini garden in the style of Urban Agriculture. The system can be made from locally available materials from Central and Eastern Europe. First of all, attention was paid to its long-term operation, easy accessibility to plants, and the possibility of integrating a self-watering system. The proposed vertical greenery system has several containers for plants, made of multi-layer plywood fastened with glue and nails. Variations of manufacturing from metal or recycled plastic are also possible, having a great perspective in terms of the ecological use of recycled materials. The supporting frame is made of wood or metal, also it has an integrated drip irrigation system.

Such mobile structures can vary from a trellis to a shelf, and be two-sided or one-sided. The dimensions of the containers are 110 cm in length x 20 cm in width. The containers had soil depths of 5, 7, 9, and 11 cm, respectively. The system's weight was calculated using CAD

(Computer Aided Drawing) to support both the weight of the containers with the soil and later with the growing plants.

As a basis for growing ivy, we used a mixture of biochar and chicken manure mixed with peat and garden soil. In our case, biochar additionally performed the function of filtration, increasing the overall porosity of the proposed mixture, and also improving the structure and mechanical load-bearing capacity. The porous structure of this mixture served as a filter material capable of absorbing impurities and pollutants. It is worth noting that water and necessary nutrients are stored in the biochar itself and ensure optimal growth and viability of plants throughout the growing season. In addition, microbial symbiosis is stimulated (*Jacobson & Ten Hoeve, 2012*).

By increasing the water-holding capacity of the soil, aerating it, releasing nutrients, and increasing the pH level, biochar can be used as an effective substitute for peat in the soil mixture. We used Golden Heart ivy seedlings as experimental plants. To ensure the purity of the experiment, the vertical greenery system was mounted under a canopy so that the control crops used only the water supplied during the experimental period.

Plant height, leaf area index – LAI; number of leaves – NL; chlorophyll content – CC; stem diameter SD; root length – RL; fresh weight were analyzed to see if statistically significant changes in plant parameters were observed when biochar was added instead of peat to the soil composition with bird droppings. The results are presented (*Table 1*).

Of the 18 control seedlings, the tallest plants (9 pieces) were those grown in a mixture of garden soil, biochar, peat, and bird droppings, compared to a mixture of garden soil, peat, and bird droppings. The soil mixture, when replacing 50% biochar instead of peat, as the experiment showed, improves plant vegetation.

The proposed designs for vertical greenery are simple and uniform in shape, which allows their production and installation in small workshops, even in schools. The use of such structures simplifies plant care. They can also be used both in private estates and in areas of limited use (in kindergartens, schools, hospitals, gated residential complexes, cafes and restaurants, etc.). It can also be used for growing vegetables or herbs (*Pugh et al., 2012*). The use of such mobile vertical greenery can also serve as a kind of educational bridge to significant transformations in the city's green system.

Despite the environmental challenges cited in (*Manso & Castro-Gomes, 2015*; *Chen et al., 2018*), as far as Ukraine is concerned, there is currently no possibility of significant financing of global green inclusions in the state's city system. Similar to the above prototypes (*Figure 1*), we offer the manufacture and installation of simple and standard systems for the rapid increase of green mass. In addition, the creation of such ones will allow effective training of young people and contribute to the development of the positive ecological trend of Urban Agriculture. The easy-to-maintain system with an area of 2.25 sq. m (1.5 m x 1.5 m) makes it possible to cultivate plants in a volume commensurate with planting on an area of 7.5 sq. m. Thus, 100 such mobile systems provide a total of 750 sq. m of intensive landscaping.

The developed plans-schemes of the proposed arrangement of vertical greenery provide for a short-term increase of the area of landscaping in the center of small towns by at least 2,500 sq.m, part of which will be planted not only with decorative plants but also with plants from the so-called apothecary's garden. In addition, the proposed mobile vertical gardening system with

an integrated irrigation system saves land by 70% of the total area. Such an affordable design of vertical gardening can easily be implemented in the conditions of small and medium-sized cities. Quick to install, and small in size, such systems can serve as barriers, fences, shading, and not only as a decorative element. The average costs for installing such a vertical system are shown (*Table 2*).

Discussion

To develop the economics of a mobile vertical gardening system, it is necessary to consider various factors related to installation costs, operation, maintenance, and potential savings since the cost and financial feasibility of the project are of great significance.

From this perspective, using recycled plastic in mobile vertical gardening systems is an important step towards sustainability. It not only reduces the negative impact on the environment but also helps save resources, reduce costs, and support the circular economy. In addition, recycled plastic provides durability and adaptability to designs, making it an ideal material for use in modern landscaping systems.

Conclusion

We consider the trend of improving the microclimate within the city by decorating the facades of buildings with vertical green plantings to be an effective solution that can affect the improvement of air quality in populated areas, as it will reduce the overall level of carbon dioxide (CO_2) and nitrogen dioxide (NO_2), which have a detrimental effect on citizens' health, as the safe level is often significantly exceeded. Plants can improve air quality by reducing the overall content of hazardous substances.

Economic calculations of the proposed mobile vertical greenery system showed a payback period of eight production cycles (assuming a constant market price). The system can stand for two calendar years without any capital maintenance and repair. The use of biochar as a component of the soil mixture increases the adaptability of plants and their rapid growth. It is possible to use inexpensive types of ivy, vines, or other plants, depending on the location and natural conditions in such a mobile vertical greenery system. This work shows that 100 of these mobile systems provide a total of 750 sq. m of intensive greening.

From an economical point of view, the most expensive vertical greenery systems are modular, but it is worth noting that during operation the modular system is flexible and allows for easy replacement of some modules if necessary, and the decorative effect of such a greenery system is at the highest level. In addition, when designing modules, it is possible to use recycled plastic. Thus, recycled plastic ensures the durability and adaptability of the design, making it an ideal material for use in modern greenery systems, and the landscaping method is highly aesthetic. Adding biochar to gardening soil has good potential, but widespread use will not be competitive if considering only its price. However, considering the environmental benefits, the proposed mobile vertical greenery systems can be widely used in cities.

Conflicts of Interest

The author declared that there is no conflict of interest.

References:

Al-Kodmany, K. (2018). The vertical farm: A review of developments and implications for the vertical city. *Buildings*, *8*(2), 24.

Alexandri, E., & Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, *43*(4), 480-493.

Bass, B., & Baskaran, B. (2003). *Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas. CCAF Report B1046*. Canada: National Research Council Canada, Institute for Research Canada.

Chen, H. et al. (2018). Effects of biochar and sludge on carbon storage of urban green roofs. *Forests*, *9*, 413.

Dunnett, N, & Kingsbury, N. (2008). *Planting green roofs and living walls*. Portland/London: Timber Press.

Fitts, Ch. R. (2013). *Groundwater science* (2nd ed.). Amsterdam: Academia Press.

Gale, N. V., & Thomas, S. C. (2019). Dose-dependence of growth and ecophysiological responses of plants to biochar. *The Science of the Total Environment*, *658*, 1344-1354.

Kaynts, D. I. et al. (2023). Vertical greening systems in the city and visual solutions for the City of Uzhhorod. *Architecture and Urban Planning*, *13*, 64-81.

Koyama, T. et al. (2018). Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls. *Building and Environment*, *66*, 96-103.

Jacobson, M. Z., & Ten Hoeve, J. E. (2012). Effects of urban surfaces and white roofs on global and regional climate. *Journal of Climate*, *25*, 1028-1044.

Manso, M., & Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *41*, 863-871.

Mukherjee, A., & Lal, R. (2013). Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy*, *3*, 313-339.

Newton, J. et al. (2007). *Building Greener: Guidance on the use of green roofs, green walls, and complementary features on buildings*. London: CIRIA Publication.

Perini, K. et al. (2013). Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. *Urban Ecosystems*, *16*, 265-277.

Pugh, T. A. M. et al. (2012). Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. *Environmental Science and Technology*, *46*, 7692-7699.

Saadatian, O. et al. (2013). A review of energy aspects of green roofs. *Renew Sustain Energy Review*, *23*,155-68.

Sheweka, S., & Magdy, N. (2011). The living walls as an approach for a healthy urban environment. *Energy Procedia*, 592-601.

Wong, N. et al. (2010). Thermal Evaluation of Vertical Greenery Systems for Building Walls. *Building and Environment*, *45*(3), 63-72.

Yong Sik Ok et al. (2019). Biochar from biomass and waste: fundamentals and applications. *Elsevier*, 437-445. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811729-3.00037-6

Appendix

Figure 1. Prototype design of the vertical greenery system

Table 1. Average values of ivy growth parameters

Parameter	Soil mixture (without biochar)	Soil mixture (with biochar)
Fresh weight (FW)	43.577 ± 0.386 (mg)	71.577 ± 0.289 (mg)
Dry weight (DW)	3.263 ± 0.027 (mg)	5.898 ± 0.065 (mg)
Stem diameter (SD)	0.900 ± 0.100 (cm)	1.050 ± 0.100 (cm)
Root Length (RL)	6.607 ± 0.163 (cm)	6.640 ± 0.207 (cm)

Table 2. Average costs for installing a vertical greenery system

Name	Quantity	Price per piece, UAH	Total price, UAH
Pipe 16"	75 m	38,25	2869
Phytocontainers 400*420*32 mm	8 pcs	1912	15296
Soil mixture	200 l	3789	15156
Biochar	20 l	750	15000
Wall profile 3000*100*50 mm	19 pcs	68,84	1308
Mounting for the profile	35 pcs	14,50	508
Bracket for mounting the module	280 pcs	9,17	2570
Water supply timer	1 pcs	1542	1542
Total:			54249

DOI 10.47451/med2024-05-01

Oleksandr Pokanevych[24], *Borys Ivnyev*[25], *Olha Puzanova*[26]

Real decisions of international medical students on choosing elective courses on general, internal, and evidence-based medicine at Kyiv Medical University [12]

Abstract: Supplementing and improving education content as scientific and subject disciplines emerge is a main principle of curriculum development. Students' participation in this process is essential for implementing the standard for quality assurance in the European Higher Education Area. Medical students may benefit from gaining more competence in current issues of general, internal, and evidence-based medicine (EBM). The relevance of such elective courses (ECs) for international medical students has not been studied yet according to the literature review. The study object was a methodology for designing a curriculum in the system of higher medical education using a student-centered approach. The study subject was student-related factors influencing curriculum development in terms of making decisions on choosing ECs by international medical students at a clinical department of a medical university. The study aimed to describe features of students' decisions and determine student-dependent factors regarding the choice of ECs on current issues of general, internal medicine, and EBM by international medical students of Kyiv Medical University (KMU). This explorative, descriptive, comparative cross-sectional pilot study utilized a self-administered web questionnaire, which was answered in April 2024 by 46 international 6th- and 5th-year medical students of KMU coming from eight Asian and African countries (India, Pakistan, Sri Lanka, Iran, Türkiye, Nigeria, Ghana, and Tanzania) and registered in the KMU's Google Workspace. All participants were divided into three groups according to region: South Asia, West Asia, and West and East Africa. The literature review was performed using information analysis methods. The relevance of all proposed topics for ECs on the issues of EBM, rheumatology, and geriatrics was justified by their choice by all study participants with a frequency of 33,33% to 72,22% in different subgroups and by the average number of topics selected of 1,71 to 2,11 per person. Decisions to choose a course on practicing EBM in internal medicine were more often made by sixth-year students (72,22%) and those coming from South and West Asian countries (73,33% and 80,00%, responsively) than by 5th-year students (46,43%) and Africans (42,31%), whose greatest interest was in aspects of rheumatology. Neither gender factor nor current academic performance in internal medicine influenced students' decisions regarding the number and topics of ECs. Our study revealed a lack of student initiative concerning individual offering topics for ECs, facts of non-choice of an EBM course in some regional subgroups, like a relatively low frequency of choice of ECs in geriatrics (33,33 and 35,71% among 6th- and 5th-year students, respectively), which confirmed the necessity of the guiding role of teachers in implementing a more student-centered approach in curriculum development and the role of student-dependent factor in this process such as their country of origin. The study results are partly consistent with the literature in terms of the need to study EBM at the undergraduate level of continuing medical education (CME), which can be influenced by national or regional features. The authors conclude that the curriculum content is worth adapting to a more student-centered approach, including the possibility of choosing the current issues in clinical medicine such as the EBM approach, etc. We estimated that the international students' choice of ECs topics depends on the year of study and the country of origin. The educators should consider the peculiarities of the different countries' healthcare systems when forming a list of optional educational components for international students in the final years of study.

Keywords: higher medical education, study program development, student-centered approach, elective courses, internal medicine, evidence-based medicine, international students, regional features.

Abbreviations:
CME – continuing medical education;
EBM – evidence-based medicine;
ECs – elective courses;
ECTS – European Credit Transfer and Accumulation System;
ESG – Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area;
HEI – higher education institution;
PHEE KMU – private higher educational establishment "Kyiv Medical University".

Introduction

Medical universities can increase their competitiveness when use the priorities of international students and other national stakeholders in the forming of the list of elective courses (ECs) in the curriculum. This approach increases the quality of higher medical education, the achievement of learning outcomes, and the development of future doctors' general and special competencies and creates individual learning paths.

The curriculum is a core of the higher education institutions' (HEIs') teaching mission. The involvement of students in the study programs' design and careful consideration process is essential for implementing the standard for quality assurance in the European Higher Education Area (*Standards and Guidelines…, 2015*). In Ukraine, even in conditions of war, the medical student cohort is the largest regarding a phenomenon of international student migration, i.e., deliberate temporary movement outside the country of their citizenship for the aim of acquiring knowledge, skills, and competencies and obtaining a degree of higher education (*Brenzovych & Nemesh, 2017*). Many universities develop study programs considering online teaching, and student migration's geography increasingly focuses on safe destinations and a search for ways to improve the effectiveness of international academic mobility programs (*Adamyk & Diachuk, 2023*). Given both global instability and technological development, Kyiv Medical University (KMU) as the best private HEI in Ukraine with its 30-year history provides both online and offline educational services. Foreign medical students' teaching is organized predominantly in the Polish campus of PHEE KMU, while there are difficulties in attending face-to-face courses due to the lack of safety in Kyiv.

As is known, the curriculum development main principle is to supplement and improve education content as scientific and subject disciplines emerge. The generally accepted position is the critical importance of a study of evidence-based medicine (EBM) issues, like the ways to implement this approach to clinical practice and medical education to improve the quality of medical and educational services. Continuing medical education (CME) on EBM is becoming "a priority in the healthcare process" (*Sabouni et al., 2017*). The great educational value of EBM as a process and a method of decision-making, problem-solving, and self-directed life-long learning is appreciated (*Prasad, 2013*; *Revenok et al., 2016*). Awareness of EBM varies across regions and states being less in developing countries with weak regulations and those dominated by traditional medicine (*Hashem-Dabaghian et al., 2022*; *Moradi & Hosseini, 2017*; *Prasad, 2013*; *Puzanova, 2011*). The situation is different in the homeland of EBM (*Prasad, 2016*; *Revenok et al., 2016*): the discipline was introduced to the foundation year program in the UK. In the USA and

Canada, the practice of EBM was included in accreditation standards for medical schools. 20 years ago, 38,5% of medical schools in the USA had a formal EBM curriculum (*Sabouni et al., 2017*). Talking about the quality of education in the conditions of lack of safety, multiple strategies of teaching EBM using online courses, lectures, tutorials, workshops, etc. turned out to be more effective than "face-to-face expert-taught courses", as it was estimated in developing countries (*Sabouni et al., 2017*).

A specialized academic discipline "Internal medicine" is a core of the health professionals' development regardless of their medical specialties in the future. One of the most difficult sections of this discipline to master is the content module "Rheumatology", particularly a diagnosis the rheumatic diseases, considering the objective complexity of their recognizing and limiting the relevant section of the discipline "Propaedeutics of internal medicine" to only the study methods of the musculoskeletal system's examination. As a result, 5th-year medical students at Ukrainian HEIs may start studying this content module without sufficient knowledge of the basics of rheumatology.

Contrary to the global trend of aging populations and specific features of the management of internal and rheumatic diseases in the elderly, neither the "Geriatrics" section nor the propaedeutic nor the EBM approach in this field of gerontology and internal medicine is presented as the main components in the current curricula.

This is personal and international experience to develop a system of CME on the issues of EBM (*Gruzieva & Puzanova, 2015*; *Povoroznyuk & Puzanova, 2019*; *Puzanova, 2011*; *Puzanova, 2018*; *Prasad, 2013*; *Revenok et al., 2016*), like the global trend of population aging and the Decade of healthy aging's challenges (*UN Decade…, 2021*) and learning outcomes in rheumatology as a complicated part of the discipline "Internal medicine" that allow us to predict a benefit for medical students from gaining more competence in the issues of EBM in internal diseases, especially rheumatic and geriatric ones, from outside the formal curricula. So, it seemed reasonable to offer these issues to study on elective courses (ECs). Namely, senior students could benefit most from these topics' implementation, because of their integrative nature and practical orientation.

Despite the obvious relevance of the above topics from the point of view of medical school teachers, their demand for medical students as ECs remains unstudied. The determination of interest of medical practitioners in training by their clinical relevance was evidenced in Nigeria (*Iloh et al., 2020*). Regarding medical students, the year of study at university turned out to be a factor influencing the effectiveness of EBM training (*Çakmakkaya, 2021*).

The need for certain thematic training may be related to the year and current content of curriculum or the type/level in the healthcare system of the institution where the physician works, like to their age, gender, marital status, type of membership, interpersonal interactions, teacher's features, etc. Concerning EBM, a literature review showed that most primary care physicians and medical interns have low knowledge and poor practice of this approach, whereas their attitude towards EBM differs from neutral to positive. Knowledge, attitude, and practice of EBM are better among specialists of tertiary and secondary healthcare institutions (*Alabdullah et al., 2022*; *Ambulkar et al., 2017*; *Sabouni et al., 2017*; *Zanaridah et al., 2021*). Participating in the CME system development on evidence-based prevention in healthcare in Ukraine in 2009-2015, we found low knowledge and skills in EBM and a high need to improve them in 252 Kyiv

physicians affiliated with primary link of healthcare (*Puzanova, 2018*), but even having developed a new discipline "Methodology of EBM" and introduced it into a system of CME in Ukraine, we did not study factors related to the student's interest to EBM.

So, international and personal experience suggests the role of student-dependent factors (individual, group, and regional) in their decisions on flexible learning paths, in particular, on the number and topics of preferred educational sections from outside the formal curricula. Regional features of decision-making on the choice of ECs are of particular interest in the context of international student mobility/migration and a significant proportion of medical students among foreign students who receive higher education in Ukraine.

To the best of our knowledge, there is no study of international medical students' decisions regarding the choice of ECs, in particular, dedicated to clinical issues of EBM and other current topics of general, internal, and geriatric medicine.

The study hypothesized that there was no difference in the number and topics of ECs chosen by foreign senior medical students of our university, regardless of student-related factors such as gender, year of study at university, and the country/region from which they came to study.

The study object is a methodology for designing study programs in the system of higher medical education using a student-centered approach, while the subject is student-related factors influencing curriculum development at medical HEI in terms of making decisions regarding the choice of elective courses' number and topics by international medical students at a clinical department.

The purpose of the study was to describe features of students' decisions and to determine student-related factors regarding the choice of ECs on current issues of general, internal, and evidence-based medicine by international medical students of PHEE "Kyiv Medical University", Ukraine.

So, the tasks of the study were:

(1) to justify several topics for ECs on the issues of general, internal, and evidence-based medicine and determine their relevance in a cross-section of international fifth- and sixth-year medical students who studied the discipline "Internal Medicine" at the Department of Internal and Occupational Diseases of the KMU – in a survey using a self-administered web-based questionnaire;
(2) to explore and evaluate student-dependent factors that may influence survey results;
(3) evaluate the novelty of the results obtained concerning an EC devoted to the evidence-based approach in clinical discipline and practice.

Methods

This was an explorative, descriptive, and comparative cross-sectional pilot study performed on 46 5th- and 6th-year medical students of Kyiv Medical University who came from several Asian and African countries. In this paper, the term "undergraduates" is used to refer to sixth-year students, while the term "senior students" is used to refer to 5th- and 6th-year students. The terms "foreign students" and "international students" are used as synonyms.

Data collection was done using a self-administered electronic questionnaire covering information on the offered topics for ECs, which was answered in April 2024 and registered in

the KMU's Google Workspace. The study of the survey results involved analysis in subgroups formed considering student-related factors such as gender and age, year of study, country, and region from which they came. A literature review was conducted to evaluate the novelty of the results obtained and to identify further directions for research.

Main principles and methods of scientific knowledge and research were used in the study including universal ones and methods of a systemic approach, quantitative and qualitative information analysis (bibliographic method and content analysis), systematization of theoretical and empirical data, historical, logical, sociological, and expert assessment. Mathematical statistics methods for processing the obtained quantitative results of the study. Frequencies and percentages were used for reporting descriptive statistics in the study cohort and its subgroups.

Having been applied to the first task of the study, these methods allowed us to identify five topics of ECs, dedicated to critical issues of the discipline "Internal Medicine", and to determine their relevance in the studied cohorts (*Figure 1*; *Figure 2*). These issues were EBM implementation, rheumatic disease diagnosis, and gerontological aspects of internal medicine and rheumatology. Accordingly, the topics were named as follows:

(1) "Basics of diagnosis in rheumatology";
(2) "Basics of geriatrics: Internal diseases in the elderly";
(3) "Rheumatic diseases in the elderly and of the elderly";
(4) "Evidence-based approach in internal medicine".

Thus, most of the topics were determined by the teachers. To answer the question of who should offer ECs, we quote Narges' team, who considered faculty to be a "key to the success of implementing changes both in classrooms and in clinical wards" (*Narges et al., 2013*). By offering the 5th option "Other (Indicate in a comment, which one namely)", we were counting on the student initiative and their constructive suggestions but did not receive any.

The study cohort consisted of 18 6th-year students and 28 5th-year students who came from several African and Asian countries and studied the discipline "Internal Medicine" at the Department of Internal and Occupational Diseases of the KMU at the same time. All participants were aged 20-29 years. A similar age group of 21-30 years was presented in two recent studies on factors influencing EBM practice in Iran and its institutionalizing in Nigeria (*Mohamadhoseinzadeh Hashemi et al., 2019*; *Nwaichi, 2020*). Gender factor was studied only in one of them (*Mohamadhoseinzadeh Hashemi et al., 2019*). As for our study, then the representation of women and men in the cohorts, depending on the year of study, is shown in tables, and depending on the country from which the students came is given in the Appendix (*Table 2*). In general, 22 men and 24 women took part in the study (*Table 1*).

The sample included 46 representatives from 8 countries, namely 3 African ones (Nigeria, Tanzania, Ghana), 3 South Asian ones (India, Pakistan, Sri Lanka), and 2 West Asian countries (Iran, Türkiye). It was a cross-section, and the participants took part in a survey in April 2024.

The students' answers on the preferable ECs were collected by using a self-administered web-based questionnaire. This questionnaire was an answer to a question of the Google form ("Which elective course(s) would be of the most interest to you personally if you were a 5th-year student now?"), provided at the end of the sessions in the discipline "Internal medicine", but not during practical classes. The survey was voluntary but not anonymous, and all responders returned their answers on time (so, the response rate in our study was 100%). This Google form

named "My choice among the elective courses proposed for the future 5th-course medical students" is situated on the topic «Feedback and propositions for the future».

We found in the literature that different tools, including self-administered, paper- and web-based, were used in surveys to assess undergraduates' and postgraduates' attitudes towards EBM, like their knowledge, skills, awareness, practice, needs, and barriers (*Alabdullah et al., 2022*; *Ambulkar et al., 2017*; *Çakmakkaya, 2021*; *Mohamadhoseinzadeh Hashemi et al., 2019*; *Sabouni et al., 2017*). The Noor EBMQ and self-reported composite questionnaires like a composition of McAllister, Berlin, and Zwolsman's questionnaires in a recent Nigerian study (*Oluwadiya et al., 2024*) are used in this research area. Along with a lack of validated national language EBM assessment tools, some questionnaires are considered to be reliable and validated tools (*Alabdullah et al., 2022*; *Çakmakkaya, 2021*).

All answers of the participants of the study were collected and studied in April 2024 after successfully finishing the 11th and the 10th semester in "Internal medicine" responsively by 18 sixth-year students (16 hours of practical classes devoted to different internal diseases and provided in March and April 2024) and 28 5th-year students (22 hours of practical classes in rheumatology and nephrology provided in April 2024).

All students were taught by the same professor, who is one of the developers of the system of CME in the discipline "Methodology of EBM" in Ukraine (*Gruzieva & Puzanova, 2015*; *Povoroznyuk & Puzanova, 2019*; *Puzanova, 2016*; *Puzanova, 2018*; *Revenok et al., 2016*), and a high-degree specialist in both internal medicine and rheumatology. This is significant to note in terms of the teacher factor as a potential confounding factor in the study, as was noted concerning teaching EBM (*Maggio et al., 2013*; *Narges et al., 2013*).

It is worth noting that the basics of EBM methodology were taught to the students in their 4th year of curriculum by a faculty member of the Department of Public Health and Microbiology of the KMU.

The study of students' responses was comprehensive. We used mathematical statistics and expert assessment methods to estimate the role of respondents-related factors such as their age, gender, year at university, current performance in the discipline "Internal Medicine", and country/region, from which they came.

As for their current performance (average grade point), the KMU grading system is harmonized with the European Credit Transfer and Accumulation System (ECTS), according to which grades are as follows: A means "excellent", B is "very good", C is "good", D is "satisfactory", E is "sufficiently". Receiving any of these grades in terms of awarding of credits means "passed", while grades F and Fx mean "failed". All participants of our study passed the credit in internal medicine, and the representation of their grades among students coming from different countries is shown in the Appendix (*Table 2*).

Concerning the potential role of the regional features, the participants came from 2 Asian and 2 African subregions. These are India, Pakistan, Sri Lanka (commonly conceptualized as South Asian countries), Iran and Türkiye (which are West Asian countries), Nigeria, Ghana (both are West African), and Tanzania (which is a state in East Africa). For the study purpose and given a small sample size, participants from Nigeria, Ghana, and Tanzania were grouped as coming from African countries (*Table 2*).

To evaluate the novelty of our findings and conclusions on senior international medical students' need to improve their ability to use EBM in clinical practice, a literature review was performed. Its first step was a search on the Internet using keywords corresponding to the names of the countries from which the study participants came, just like the search term "evidence-based medicine".

The initial characteristics of the groups of study participants according to the year of study were as follows. The group of undergraduates (i.e., 6th-year students) included 18 persons of average age 25,5 (range from 23 to 29) with a ratio of men and women 1:1. Their distribution according to the countries from which they came was as follows: India – 6, Nigeria 4, Iran – 3, Ghana – 1, Sri Lanka – 1, Pakistan – 1, Tanzania – 1, Türkiye – 1. All students successfully completed the "Internal Medicine" course with practical classes in cardiology, rheumatology, gastroenterology, nephrology, endocrinology, and hematology at the Department of Internal and Occupational Diseases. As for their current performance in the discipline, their distribution according to the ECTS grades was as follows: A – 7 (38,89%), B – 5 (27,78%), C – 4 (22,22%), D – 1 (5,56%), E – 1 (5,56%). In their 6th year at university, the elective courses "eHealth", "Dietetics" and "Laboratory Diagnostics" were provided by the other departments of the KMU.

The 5th-year students' group included 28 persons (13 men and 15 women) of average age 23,6 (from 20 to 29) with a ratio of men and women 1:1,15. Their distribution according to the countries from which they came was as follows: Nigeria – 18, India – 4, Pakistan – 3, Iran – 1, Ghana – 1, Tanzania – 1. All students successfully passed the discipline "Internal medicine" in their 10th semester having practical classes in rheumatology and nephrology at the Department of Internal and Occupational Diseases. According to the ECTS grades, their distribution was as follows: A – 18 (64,29%), B – 1 (3,57%), C – 9 (32,14%).

The results of the study

18 undergraduates participated in the study, as Fig. 1 and Table 1 show. They all completed and returned a Google form, and no one of them chose the last option ("Other"), while the topics offered were chosen 38 times. On average, there were 2,11 ECs per student in this study subgroup. This result proved a high motivation of undergraduates for additional training in the current issues of the clinical discipline "Internal Medicine", just like their need to be guided in a decision-making process concerning elective courses.

The most popular topic for undergraduates was option № 4 ("EBM in internal medicine") chosen by almost ¾ of them (72,22%). Half of the respondents chose courses related to rheumatic diseases (options № 1 and № 3 – 55,55 and 50,00% responsively). The least popular topic, chosen by only one in three students (33,33%), was "Basics of geriatrics" – option № 2. Thus, the relevance of studying gerontology's clinical issues must be explained to medical undergraduates, while the need for providing EBM in clinical practice is both intuitively felt by them, and is contextual, and is the result of the continuity of the components of the study program.

Only one EC was chosen by a minority of undergraduates – by every third student (6 out of 18; 33,33%) – and in these cases, the topic of EBM predominated (4 out of 6; 66,67%). With the same rate 33,3% (6 out of 18), the undergraduates chose two ECs, and in these cases, the

topic of EBM was also a leader (5 out of 6; 83,33%) combining either with "Basics of Rheumatology" (4 out of 6; 66,67%) or with "Rheumatic diseases in the elderly" (1 out of 6; 16,67%). In general, a majority (2/3) of respondents chose either one or two ECs, and a minority (1/3) – three or four topics. Three ECs were chosen by 2 undergraduates (11,11%), who preferred "rheumatologic" topics (№ 1 and № 3) in combination with either EBM (№ 4) or "clear" geriatrics (№ 2). Finally, all four proposed topics were chosen by 3 respondents (16,67%).

Was there a link between the main respondents' demographic features and numbers and topics of chosen ECs? Neither the student's age nor average grade point in the discipline "Internal medicine" turned out to be predictors for the choice of ECs in our study. Women chose only one EC more often than men (*Table 1*). The topic dedicated to EBM was quite equally attractive to both.

As it is highlighted above, the current performance in this group was on average very good: 66,67% of them were graded with A and B according to ECTS. The application of mathematical statistics methods in this small sample did not reveal a dependence of the number of ECs taken on the average grade point in internal medicine. The largest number of ECs (four) were taken by three students graded with A, B, or C. Two students graded with D and E chose one and two ECs responsively. The answers of the students graded A, who numerically dominated in this group (7 out of 18), were distributed as follows: 42,86% (n=3) preferred one EC, 28,57% (n=2) – two, and 14,29% each were those who chose three or four ECs. Most students graded with A in internal medicine (5 out of 7; 71,43%) chose a topic on EBM in internal diseases, but the rest 28,57% did not prefer this course.

The frequency of occurrence and share of ECs in the responses of all sixth- and fifth-year students who made up the study cohort (n=46) are presented in Fig. 2. Compared to the findings in undergraduates (*Figure 1*), the share of those who chose an EBM topic "decreased" due to the enlargement of a sample at the expense of 5th-year students from 72,22% to 56,52%, whereas the share of those who would study a course "Basics of diagnosis in rheumatology" remained at more than half (58,69% vs. 55,55% among 6th-year students).

Talking about fifth-year students (n=28), they all returned their responses (*Figure 1*; *Table 1*), and none chose the option "Other", while the other four named options were indicated in the Google form 48 times. On average, there were 1,71 ECs per student in this subgroup. Like with the undergraduates who chose 2,11 ECs per person, this result proved both high students' motivation for additional training in the current issues of internal medicine and their need for suggestions on the ECs' topics.

So, the most popular and equally interesting for men and women in the 5th year student group was the topic № 1 ("Basics of diagnosis in rheumatology") chosen by 60,71% of respondents (*Table 1*). The EBM-related topic was chosen by less than half of participants (46,43%). Like with the undergraduates, the option "Basics of geriatrics" turned out to be the least popular: it was chosen by 35,71% of students. So, the most interesting topic was the contextual one – a course that complemented a main component of the curriculum, which had been just learned according to the schedule.

Only one EC was chosen by every second 5th-year student (14 out of 28; 50%). The other half of the group chose more options, and it is worth indicating that the share of those who would take four ECs was only 7,14%.

Given the highest interest in the topic related to rheumatology in this study group, a link between current performance in the discipline "Internal Medicine" and the preferred options was suggested. Calculation showed that like in the undergraduate group, a majority of 5th-year students (19 of 28; 67,86%) were graded A or B according to ECTS. Most of them (11 of 19; 57,89%) chose only one EC. The responses of the students graded A, who numerically dominated in this group (18 out of 28; 64,29%), were distributed as follows: 61,11% (n=11) preferred only one EC, 22,22% (n=4) – two, 11,11% (n=2) – three, and 5,56% (n=1) – four ECs. Interestingly almost ¾ of students, who were graded A for learning rheumatology and nephrology and chose only one EC, preferred the related ("contextual") topics – either "Basics of diagnosis in rheumatology" (5 of 11; 45,45%) or "Rheumatic diseases in the elderly" (3 of 11; 27,27%) – in general, 72,73% (8 out of 11). Only two of them would take a course "EBM in internal medicine", and only one student chose "Basics of Geriatrics". Regardless of the number of chosen ECs, EBM was of interest to only 33,33% (6 of 18) students graded A and 77,78% (7 of 9) students graded C in "Internal medicine". The only student, who was graded B in rheumatology and nephrology, did not choose a course of EBM but preferred rheumatology-related topics № 1 and № 3.

Talking the whole studied cohort (n=46), 1,87 ECs per student were chosen (*Table 1*).

Thus, more than half of 5th-year students require more study in the issues of rheumatology although this section of "Internal medicine" is being taught in the current semester as a curriculum's mandatory component. Our study shows that the topic "Basics of diagnosis in rheumatology" is the most popular among the ECs offered for this student cohort, whereas in the final year at university when more knowledge and skills have been accumulated and medical practice has become more advanced, the topic of applying EBM is of greatest interest.

Thereby, from the perspective of a more student-centered approach for designing curricula and developing flexible learning paths, it is worthwhile to propose the elective components of a study program at a clinical department, but no more than two per semester and considering current content. For 5th-year students, it is reasonable to strengthen their competence in rheumatology and nephrology in the 10th semester by learning an EC devoted to rheumatic diseases. However, considering the demographic trends and prospects (i.e., aging of the global population) and in the absence of the discipline "Geriatrics" in the curriculum, it seems reasonable to offer to 5th-year students namely the topics like "Rheumatic Diseases in the Elderly", "Kidney Diseases in the Elderly", etc. For undergraduates, more integral themes like "Evidence-based approach in internal medicine clinic", "EBM in geriatrics" etc. may be especially interesting and useful.

The regional features of a choice of ECs by the foreign medical students of Kyiv Medical University, estimated in our study, are summarized in the Appendix (*Table 2*). Table 3 shows the distributions of the students' decisions regarding the topic "EBM in internal medicine" in terms of regions and countries from which they came.

The Indian subgroup of our study included 10 participants: 6 undergraduates (2 men and 4 women) and four 5th-year students (3 men and a woman) (Table 2). Their current performance

in "Internal medicine" was as follows: undergraduates received B, C, or D (3; 2; 1 person(s) responsively), while 5th-year students were graded A (n=2) or C (n=2). Interesting that the course on EBM in internal medicine was chosen only by the students graded C (n=4) and B (n=3). This topic was chosen by 83,33% of undergraduates (5 out of 6; one man and 4 women) and half of the 5th-year students (2 out of 4; both men), in total by 70,00 % of Indians – by 3 men and 4 women. Namely EBM turned out to be the most popular issue for undergraduates (as taken by 83,33% of them), whereas all 5th-students voted for the "Basics of diagnosis in rheumatology".

The average number of ECs per student in the subgroups was 2,00 in undergraduates and 2,25 in 5th-year students. Regardless of the year of study, half of the students voted for only one EC. As for the other halves, undergraduates chose from two to four ECs, and 5th-year students chose three to four courses per person.

The Pakistan cohort consisted of four men graded either A or C in "Internal medicine": one 6th year student (graded C and chose all proposed topics including EBM) and three 5th-year students (regardless of their grades in internal medicine, they all preferred to study "Basics of diagnosis in rheumatology", whereas the issues of EBM was of interest to 66,67%). Most 5th-year students (2 out of 3) chose three ECs (namely the topics №№ 1, 2, and 4) regardless of their grade A or C in internal medicine, and one student who was graded A chose only the topic "Basics of diagnosis in rheumatology". The average number of ECs per person among Pakistanis turned out to be 2,75.

Concerning the participant from *Sri Lanka*, he was an undergraduate graded A in internal medicine and chose to study both "EBM in internal medicine" and "Rheumatic diseases in the elderly". So, the average number of ECs per student in this subgroup was 2,00.

Thus, the *South Asian subgroup* (n=15, which is 32,61% in the study cohort) consisted of 8 undergraduates (4 men and 4 women; ratio 1:1) and 7 5th-year students (6 men and 1 woman, ratio 6:1), of which 10 were men and 5 were women (ratio 2:1). The topic "EBM in internal medicine" was chosen by a majority in this cohort (11 out of 15; 73,33%) and among their undergraduates (7 out of 8; 87,5%) and 5th-year students (4 out of 7; 57,14%).

As for 5th-year students from the South Asian region, there was no one from Sri Lanka, so, all participants were Indians and Pakistanis and preferred a course on diagnosis in rheumatology (which expanded and improved the curriculum concerning the main component studied in the 10th semester). The topics devoted to EBM, geriatrics, and rheumatic diseases in the elderly were taken each by 57,14%.

In general, the EBM course was chosen by all those who came from Pakistan and Sri Lanka and by 70% of Indians.

The West Asian subgroup included only 5 representatives from Iran and Türkiye, so its share in the study cohort was 10,87%. Distinctive features of this cohort turned out to be the predominance of women, like Iranians, undergraduates, and those who received an A grade in the discipline "Internal medicine": the proportion of each of these characteristics was 80%.

Most Iranian students (75%) chose a study of EBM and preferred two ECs. A course on EBM was taken by all undergraduates (namely 2 women graded A and a man graded B). This topic was not chosen by one 5th-year student graded A in "Internal medicine"; she decided on the topics "Basics of geriatrics" and "Rheumatic diseases in the elderly".

The only participant from *Türkiye* was a 6th-year student graded A in internal medicine. Her decision was both a course dedicated to EBM along with a "Basics of Diagnosis in Rheumatology".

As can be seen from the Appendix (*Table 2*), a total of 26 *African students* participated in our study, including 22 from Nigeria and 2 each from Ghana and Tanzania.

The Nigerian subgroup was the largest compared to others in our study. It consisted of 4 undergraduates (2 men and 2 women) and 18 5th-year students (7 men and 11 women) and included 9 men and 13 women. Thus, due to 5th-year students, women predominated in the Nigerian subgroup with a share of 59,09%, and male to female ratio was approximately 2:3.

The topic "EBM in internal medicine" was chosen by half of the Nigerian cohorts – both general (11 out of 22) and Nigerians in their 5th and 6th years of university (9 out of 9 and 2 out of 4, respectively). Among the students graded with A in internal medicine, a share of those who chose EBM turned out to be less than half – 46,15% (6 out of 13).

Talking about four Nigerian undergraduates, their academic performance in internal medicine was not homogenous (two persons were graded with A, while the others received grades C and E. The course on EBM was chosen by those whose performance in the discipline was either "excellent" (grade A) or "sufficient" (grade E). In general, 50% of undergraduates (2 out of 4) were interested in EBM. The calculation showed that there were 2,11 ECs per person in this subgroup. More than one elective course were chosen by 75% of Nigerian undergraduates (3 out of 4), and in all these cases the topic "Basics of diagnosis in rheumatology" was taken.

As for 5th-year students coming from Nigeria (n=18), 66,67% of them were graded A (n=11) and B (n=1) in internal medicine. Every third person (33,33%) received a grade of C. In general, 50% of students (9 out of 18) were interested in EBM, and this topic was chosen by 57,14% of men (4 out of 7) and 45,45% of women (5 out of 11). There were 1,83 ECs per student in this subgroup. An almost equal number of participants chose the topics dedicated to either EBM (n=9) or diagnosis of rheumatic diseases (n=10; 3 men and 7 women) or rheumatic diseases in the elderly (n=8; 2 men and 6 women). Every third person was interested in studying geriatrics (n=6; 2 men and 4 women).

All participants from *Ghana* and *Tanzania* (n=4) turned out to be not interested in additional courses on EBM – although their current performance in internal medicine was graded with A (75%) and B (25%). All of them without exception preferred to study the topic "Rheumatic diseases in the elderly and of the elderly". All undergraduates (n=2) from these African countries took more than one elective course, but none of them chose "EBM in internal medicine".

As Table 2 shows, among all participants who chose a course on EBM (n=26), the shares of students coming from Africa (namely Nigeria, n=11) and South Asian countries (India, Pakistan, and Sri Lanka; a total of 11 persons) turned out to be equal (each of 42,31%), although the sizes of these regional cohorts were different: 26 students were from Africa and 15 from South Asia.

Thus, we found differences in students' decisions regarding the offered ECs and their relation to a year of curriculum and the region and country from which students came.

Information analysis performed according to the objective and the tasks of our study revealed that, concerning knowledge and attitude to EBM training programs for medical

students, several cross-sectional studies were provided in Türkiye (*Çakmakkaya, 2021*; *Coşkun et al., 2023*), Iran (*Narges et al., 2013*), etc. Similar surveys were conducted among physicians and other healthcare practitioners of tertiary and secondary link in India (*Ambulkar et al., 2017*), Sri Lanka (*Abeysena et al., 2010*), Iran (*Moosavi et al., 2020*), Nigeria (*Iloh et al., 2020*; *Nwagwu, 2008*; *Oluwadiya et al., 2024*), just like in Syria (*Alabdullah et al., 2022*), and among Ethiopian medical interns (*Yehualashet et al., 2021*), Malaysian emergency doctors (*Ahmad Ghaus et al., 2021*) and primary care practitioners (*Zanaridah et al., 2021*). In 2013, literature data on educational interventions addressing multiple skills on EBM in medical students of 12 different countries were systemically reviewed by Maggio et al. from Stanford University (*Kharaghani et al., 2016*).

As for Ukraine, in 2015 we were the first (*Gruzieva & Puzanova, 2015*) who study the sample of 252 Kyiv primary link physicians concerning their knowledge, skills, and attitude to EBM in the field of medical prevention (*Puzanova, 2018*) using a self-developed questionnaire (*Gruzieva & Puzanova, 2015*). A low level of knowledge and skills on the issue was found, which was consistent with the results of two surveys of tertiary healthcare professionals conducted by other authors in 2005 and 2009. The high need of our study's participants to improve their competence in EBM was found (*Puzanova, 2018*), so we confirmed the need to develop a system of CME on EBM and started to implement it in Ukraine.

Best practices in implementing EBM to improve quality in healthcare and medical education have been studied systematically (*Povoroznyuk & Puzanova, 2019*; *Puzanova, 2011*; *Puzanova, 2016*; *Puzanova, 2018*; *Revenok et al., 2016*). Concerning regional features of choosing ECs by medical students from different African and Asian countries, it is worth noting that some national and regional features of the implementation of EBM have been described by authors from India (*Prasad, 2013*; *Thakkar & Shyam, 2017*), Iran (*Hashem-Dabaghian et al., 2022*; *Kharaghani et al., 2016*; *Mohamadhoseinzadeh Hashemi et al., 2019*; *Moosavi et al., 2020*; *Moradi & Hosseini, 2017*; *Narges et al., 2013*), Nigeria (*Iloh et al., 2020*; *Nwaichi, 2020*), Germany (*Sabouni et al., 2017*), Syria (*Alabdullah et al., 2022*), and much is known about the EBM development by Western countries and China as old and new leaders in this regard, respectively (*Puzanova, 2016*).

Regarding the influence on the quality of clinical practice of EBM training sessions, the literature data are different. For example, the need to enhance EBM skills training in the current medical school curriculums was confirmed in 2021 in Malaysia given the results of a survey of 183 physicians and medical officers from the governmental hospitals' emergency departments (*Ahmad Ghaus et al., 2021*). We found the same conclusion in the other papers, too (*Ambulkar et al., 2017*; *Nwagwu, 2008*; *Subbiah, 2023*). It seems paradoxical that in the sample of 169 surgeons and trainees from 5 southwest Nigerian hospitals described in 2024 (*Oluwadiya et al., 2024*) those who received EBM training were not more likely to use this approach in the clinical decision-making process than those who were never trained, which allowed Oluwadia's team to indicate the need to reevaluate the quality of EBM training provided in the region (*Oluwadiya et al., 2024*).

Quoting articles by African and American authors published in 2008 and 2023, respectively, we note their similarities concerning the importance of EBM studying: "EBM should be part of the undergraduate medical curriculum in Nigeria" (*Nwagwu, 2008*), and "clinical trials training should be a part of medical education" (*Subbiah, 2023*).

It is worth noting the high need to improve the level of EBM consciousness and awareness among Nigerian medical HEIs' teaching staff highlighted 16 years ago (*Nwagwu, 2008*). Their paper (*Nwagwu, 2008*) reported a high rate (47,19%) of a high level of knowledge in EBM among 89 consultants of the teaching hospitals of medical educational institutions, while 52,81% had low knowledge. The study cohort included 82 males and seven females; every third was in the rank of professor and the others were with comparable frequency either lecturers, senior lecturers, readers, or non-academic consultants. Interestingly only 34% assessed their knowledge as low, while 66% had a high assessment of their knowledge. Neither age nor duration of service influenced their awareness of EBM. Concerning gender factors, there was no statistical association found, but more males reported awareness of EBM than females (52,43 vs. 47,57%). The disciplinary specialty turned out to be significant: the highest level of awareness about EBM (range from 65,32 to 72,12%) showed surgeons, obstetricians-gynecologists, and ear, nose, and throat doctors, whereas the lowest level (range from 1,2 to 1,55%) was reported by experts in biostatistics, epidemiology, and biochemistry.

In 2006, in line with global trends and practices, the Nigerian government recognized the relevance of evidence-based policies as a critical requirement for providing comprehensive reforms in healthcare (*Nwaichi, 2020*). In 15 years, as Nwaichi and his team reported, advanced knowledge of evidence-based decision-making was shown only by 1% of 424 Nigerian governmental and non-governmental agencies stuff (although they all were well-educated), whereas 36% did not know this approach (*Nwaichi, 2020*). Thus, a demand for EBM institutionalizing in the country was confirmed.

From regional and historical viewpoints, such a need was recognized in China much earlier than in Nigeria, in 1996 (*Puzanova, 2011*). As for India, then, considering its huge and growing population and the presence of a developed pharmaceutical industry, this country seemed to be a new regional leader in EBM (*Puzanova, 2016*), but a literature review revealed many regional features and barriers for the implementation of this approach in medical practice (*Ambulkar et al., 2017*; *Prasad, 2013*; *Thakkar & Shyam, 2017*). Similar challenges and obstacles to the development of EBM were estimated in Iran (*Hashem-Dabaghian et al., 2022*; *Mohamadhoseinzadeh Hashemi et al., 2019*; *Moradi & Hosseini, 2017*). The developing countries' need to use a multimodal approach to teaching EBM has also been substantiated (*Sabouni et al., 2017*).

In general, the similarity of barriers to EBM implementation and ways to eliminate them at different levels of healthcare systems has been evidenced (*Abeysena et al., 2010*; *Moosavi et al., 2020*). Although sources of evidence are changing and constantly growing in quantity (*Subbiah, 2023*), the main databases of EBM remain the same. The problem of their low access and poor availability in low-moderate-income countries has long been identified. For example, in Nigeria, the most important EBM resources are well-known for teaching hospital consultants (*Nwagwu, 2008*), but not for most surgeons in the southwest region who still rely on traditional sources of information in their clinical practice (*Oluwadiya et al., 2024*).

In India, all residents have free access to the Cochrane Library, which is the main computer database of EBM (*Prasad, 2013*). Like in China (*Puzanova, 2011*), an international collaboration on EBM started in India in 1995 by providing workshops for medical college faculties and healthcare practitioners. In 2005, the South Asian Cochrane Network (SACN) was established to support EBM development in India and other South Asian countries such as Sri Lanka,

Pakistan, Bangladesh, Bhutan, Nepal, the Maldives, and Afghanistan. Despite this, the lack of providing evidence-based cardiovascular prevention by 2993 Indian physicians at any level of healthcare was disclosed in 2009. Low EBM awareness and high misconception that EBM ignored clinical experience were found in 50% of surgeons who participated in the other survey in 2010. As of 2013, it was several attempts to include EBM in undergraduate or postgraduate curricula or exams (*Prasad, 2013*). As Prasad wrote at the time, the aim was to promote research and create a system of CME on EBM. The main perspectives were to develop medical education in EBM, including international collaboration concerning improved curriculums and educational materials.

However, in 2017 acceptance of EBM in India remained low, according to Thakkar and his colleagues (*Thakkar & Shyam, 2017*). Concerning a better situation in tertiary-level medical settings, Ambulkar and his team reported the results of a monocentric paper-based questionnaire survey of 123 anesthesiologists (76% of respondents), intensivists, surgeons and allied perioperative healthcare professionals provided at a Cancer Centre in Mumbai (*Ambulkar et al., 2017*). Given a response rate of 65%, most participants (98%) had a positive attitude towards practicing EBM in perioperative medicine, while only 54% of them had been trained in research methodology. The lack of knowledge of fundamental issues of EBM in this cohort confirmed the need to incorporate EBM into undergraduate medical education (*Ambulkar et al., 2017*).

In Malaysia, as of 2021 (*Ahmad Ghaus et al., 2021*; *Zanaridah et al., 2021*), a suboptimal level of knowledge on EBM was found in a survey of primary healthcare professionals conducted by Zanaridah and his co-authors. In the same year, a high level of knowledge of EBM was proved in half of the 200 emergency doctors in Kelantan. Other features in this cohort, according to Ahmad Ghaus and his colleagues, were positive attitude and good practice of EBM (*Ahmad Ghaus et al., 2021*).

As was reported in Sri Lanka (*Abeysena et al., 2010*), by 2007-2008 some form of training in EBM had been received by 28% of 315 secondary hospitals' physicians. EBM was practiced by 54% and considered to be "fundamental to professional practice" by 77% of participants. The response rate in the survey was 77,4%.

The same category of physicians was studied in a recent Iranian nationwide survey provided with a response rate of only 54,4% (*Moosavi et al., 2020*). 1524 researcher-designed questionnaires were completed, and the results obtained turned out to be similar to the data from the Kyiv sample of primary care doctors (n=252) (*Puzanova, 2018*). The main obstacles to practicing EBM were similar in Sri Lanka, Kyiv, and Iranian cohorts studied in 2010, 2015, and 2020 respectively, but gender was indicated as a barrier-related factor only in Iran.

Talking about regional features of barriers to EBM teaching and learning at the postgraduate stage of CME, they seem to be similar in different countries (*Abeysena et al., 2010*; *Ahmad Ghaus et al., 2021*; *Mohamadhoseinzadeh Hashemi et al., 2019*; *Sabouni et al., 2017*; *Yehualashet et al., 2021*; *Zanaridah et al., 2021*). Developing countries were in focus of a study of the obstacles to EBM awareness reported by Sabouni and his team in 2017.

Having performed a content analysis of the other paper (*Mohamadhoseinzadeh Hashemi et al., 2019*), we confirm Iranian authors' attention to gender as a factor related to practicing EBM by physicians of Tehran secondary-referral hospitals. There were 150 participants in the survey (a

response rate of 79%), including 53,3% males. Concerning causes of non-using research in clinical practice (such as organizational effects, research quality, research skills, and access to research findings), the role of physician features was studied, namely their age (including a subgroup of 21-30 years), gender, level of education (i.e., specialist, subspecialist or general practitioner), marital status, and type of membership (official or contractual). Neither gender nor marital status nor type of membership turned out to be associated with any of the indicated causes of non-practicing EBM. Female gender was not an obstacle to providing research in clinical practice. It was overwork, lack of time, motivation, facilities, and authorities' support indicated as the most important barriers.

So, we found several Iranian publications on their experience on teaching EBM (*Kharaghani et al., 2016*; *Moosavi et al., 2020*; *Narges et al., 2013*) and practicing EBM (*Hashem-Dabaghian et al., 2022*; *Jahangir, 2022*; *Mohamadhoseinzadeh Hashemi et al., 2019*; *Moradi & Hosseini, 2017*) and no any paper from Pakistan in the available databases.

Besides that, the papers dedicated to Syria and Egypt were of interest considering both international student migration from these countries (*Sabouni et al., 2017*) and the Syrian experience of a dramatic decline in the quality of medical services during and after the devastating war (*Alabdullah et al., 2022*). This stimulated Alabdullah and his co-authors to conduct a cross-sectional study of knowledge, attitude, and practice of EBM using a self-designed web questionnaire, which was answered by 214 physicians from secondary and tertiary teaching hospitals. As of 2022, most of them (77,6%) never studied the issues of EBM, a majority had low knowledge and neutral attitude to EBM, and either never or seldom joined CME for an update regarding EBM. In Egypt, in 2013 most physicians considered themselves to be practicing EBM, while in fact, they were not. Sabouni and his co-authors quoted that the other regional feature was wide misconceptions of knowledge in EBM (*Sabouni et al., 2017*).

Authors from Ethiopia (*Yehualashet et al., 2021*) described features related to practicing EBM in a survey of 403 medical interns at a regional state teaching hospital, such as a lack of knowledge, critical appraisal skills, and time for searching evidence, just like a negative attitude towards EBM.

Talking about Türkiye, Sabouni and his co-authors quoted the paper published in 2014 and reported that only 1% physicians of in this country attended EBM courses during their university life (*Sabouni et al., 2017*). As it was written in 2021 (*Çakmakkaya, 2021*), the EBM training ECs for 3rd-, 4th-, and 5th-year students have been individually developed and implemented by several medical schools in Türkiye, and it was suggested the feasibility of teaching the EBM's basics in the 3rd year of the curriculum, given the results of a 78 students' survey, which evaluated this program's effectiveness using a national version of Fresno test. In 2023, the impact of EBM training on students' beliefs about the origins of COVID-19 was found in a cross-sectional study involving 2577 medical students from 49 medical schools (*Coşkun et al., 2023*).

Literature data indicate the influence on the implementation of EBM of several factors associated with medical students/healthcare professionals such as gender, year of the curriculum, type of membership, regional features and needs, or ethnicity, too (*Mohamadhoseinzadeh Hashemi et al., 2019*). The teachers' features can also be influencing (*Maggio et al., 2013*; *Narges et al., 2013*). In a literature review by L.A. Maggio and his team, it was

established that the majority of EBM instructors (60%) were physicians and the majority of teaching interventions (60%) were focused on clinical students, while fewer papers informed on "preclinical" students taught in EBM (*Maggio et al., 2013*).

The obstacles to teaching EBM in Iranian HEIs were described in a qualitative study (*Narges et al., 2013*) from the views of both medical students and clinical academics. The academics suggested the need to teach the faculties first to encourage them to act as role models and provide opportunities to use EBM skills in clinical settings. We noted that at the same time, the implementation of a system of CME in EBM started in Ukraine in different focus groups of national healthcare professionals (*Gruzieva & Puzanova, 2015*; *Puzanova, 2016*; *Puzanova, 2018*; *Revenok et al., 2016*).

Talking about regional and year-dependent features of student choice for EBM in clinical practice as a selected part of curricula, it is worth noting that consistency of clinical guidelines may be important too, e.g., in 2020 Iranian guidelines in preventive services in primary care had a good consistency with the American recommendations than in obstetrics and gynecology (38% vs. 75,6%) (*Kharaghani et al., 2016*). But there is no doubt about the need to teach less integrative but more subject/content-oriented ECs for 5th-year medical students on the principles of EBM.

It was confirmed using information analysis of the mutual interest and convergence of opinions of adherents of traditional medicine and EBM in different countries, just like a study of regional features of the EBM implementation for developing national healthcare systems (*Hashem-Dabaghian et al., 2022*; *Jahangir, 2022*; *Moradi & Hosseini, 2017*; *Prasad, 2013*; *Puzanova, 2011*; *Puzanova, 2016*; *Thakkar & Shyam, 2017*). Various interventions of both Iranian traditional medicine and Chinese traditional medicine acknowledged their ability to solve many clinical needs and challenges (*Moradi & Hosseini, 2017*; *Puzanova, 2011*), although these approaches cannot be completely integrated into the EBM framework because they recognize expert opinion as superior to epidemiologic evidence. As it was reported in 2022, less than half of Persian medicine specialists in Iran were trained in the EBM issues (*Hashem-Dabaghian et al., 2022*). However, a decade ago, more than 10% of all Cochrane systematic reviews were developed by Chinese experts – not limited to aspects of Chinese traditional medicine (*Puzanova, 2011*; *Puzanova, 2016*). Criticism of the quality and applicability of evidence is found in many papers regardless of their origin country (*Jahangir, 2022*; *Moradi & Hosseini, 2017*; *Revenok et al., 2016*; *Subbiah, 2023*; *Thakkar & Shyam, 2017*). Traditional Chinese, Indian, and Persian medicine is based on expert opinion and more oral than translation knowledge written way. Both the "teacher-centric" and "patient-centric" approach remain a paradigm of medicine in most Asian countries. However, the EBM acceptability and implementation have been improved across the board as a result of its concept development as the integration of research evidence with clinical expertise (either individual or consensus) and a patient's choice and values (*Ambulkar et al., 2017*; *Hashem-Dabaghian et al., 2022*; *Narges et al., 2013*; *Prasad, 2013*; *Revenok et al., 2016*). Nowadays EBM has become more patient-centric than recently (*Ahmad Ghaus et al., 2021*), which is reminiscent of a more student-centered paradigm of modern higher education.

The national context has also been considered by the experts who studied barriers and obstacles to EBM implementation, just like future directions and strategies for EBM education

(*Abeysena et al., 2010*; *Ambulkar et al., 2017*; *Iloh et al., 2020*; *Maggio et al., 2013*; *Mohamadhoseinzadeh Hashemi et al., 2019*; *Moosavi et al., 2020*; *Narges et al., 2013*; *Nwagwu, 2008*; *Puzanova, 2011*; *Sabouni et al., 2017*; *Thakkar & Shyam, 2017*). To summarize, the quality and best practices in healthcare and higher medical education imply the implementation of a system of CME on EBM starting from the development of appropriate student competencies at the undergraduate level.

Discussion

Our pilot study had no prototype found in the available literature. To the best of our knowledge, this is the first survey of medical students on the issue of choosing ECs on current medical-and-social issues such as non-communicable (namely internal and geriatric) diseases, and applying EBM to internist's practice. It solved the ECs' topics relevance question offered to senior international medical students coming to the KMU from several African and Asian countries. Being implemented as flexible learning paths and selective components of curricula, these ECs can improve the quality of educational services, develop student competencies, and contribute to improving higher education quality.

The rationale for proposing namely rheumatic diseases, geriatrics, and EBM in internal medicine as priority topics for ECs at the clinical department of KMU for international 5th- and 6th-year medical students was the objective difficulties in both studying rheumatology as a complex branch of internal medicine and a managing rheumatic diseases in clinical practice (*Povoroznyuk & Puzanova, 2019*; *Puzanova, 2018*), just like a global trend of population aging and a need for efforts to provide better medical care for older people, which has been declared the task of the Decade of healthy aging 2021-2030 (*UN Decade…, 2021*), and EBM recognition as an approach to improve quality in health care by integrating the best epidemiological evidence with clinical expertise, given consensus and circumstances, and individual patient's choice and values (*Alabdullah et al., 2022*; *Narges et al., 2013*; *Puzanova, 2016*). The following ECs were offered: "Basics of diagnosis in rheumatology" (as the most complicated part of the subject discipline "Internal medicine"); "Basics of geriatrics: Internal diseases in the elderly" (grounded by a stable global trend of demographic aging); "Rheumatic diseases in the elderly and of the elderly" (to integrate the previous topics' tasks); "Evidence-based approach in internal medicine" (grounded by the need to provide a continuity of teaching the EBM methodology issues at the undergraduate stage of CME); "Other (Indicate in a comment, which one namely)" (because it is necessary to support students' participation in creating flexible learning paths).

The study results allowed us to conclude that all these topics were justified with regard not only to global health essentials and demographic trends, the ESG and recommendations on implementing EBM from global and national undergraduate medical education accreditation organizations, like the current curricula content in specialty "Medicine", but also concerning students' decisions. Except for the option "Other", all ECs offered were chosen by 33,33 to 100% in certain studied subgroups.

The students' level of competencies according to the year of curriculum turned out to be influencing choosing the ECs. This is in line with the literature data, although more information was found about the postgraduates' opinions (*Mohamadhoseinzadeh Hashemi et al., 2019*; *Yehualashet et al., 2021*). As for sixth-year participants, most of them decided to study more on EBM (72,22%), while 55,55% needed to improve their knowledge in the diagnosis of rheumatic

diseases (despite studying this in both 10th and 11th semesters) and 50% chose a new topic on rheumatic diseases in the elderly. The majority chose more than one topic, including EBM in most cases. Students' decisions for a more studying EBM can be explained by their conscious or intuitive choice of the educational course they need for their future professional career and is related to what they had studied earlier at the Department of Public Health and Microbiology at the KMU.

Other student-related factors seem less significant. The fact of the numerical predominance of women over men among patients with rheumatic diseases and in elderly populations is well known. This prompted us to consider the gender factor in the study, but its role was not confirmed, which corresponds to the data of other authors (*Mohamadhoseinzadeh Hashemi et al., 2019*). Neither student gender nor average grade point in the discipline "Internal medicine" in the current semester influenced the topics and numbers of the ECs chosen. Regarding the role of academic performance, future studies should consider the student's grade in the EBM course received in the fourth year of the curriculum.

In our study, participants' educational needs varied depending on their region of origin, e.g., the EBM course in internal medicine was chosen by most undergraduates from West and South Asian countries, but only half of those from Africa. In general, both the year/semester of curriculum and region/country of origin turned out to be the factors potentially influencing students' decisions regarding the number and topics of the ECs offered. This result, to the best of our knowledge, is new in the literature.

Concerning regional features, much has been described by the authors from different regions and countries on issues of awareness, development, and implementation of EBM methodology. Our results are consistent with the literature data about regional features regarding leadership or lag in both the implementation of medical standardization based on the EBM principles and providing a CME system in EBM methodology, in particular, of providing appropriate training at universities.

The regional features regarding less need to study the course "EBM in internal medicine" among African students compared to the other subgroups in our study may be related to both weak EBM process development and standardization weak system in healthcare based on the principles of EBM in some African regions and countries. However, the literature review found that EBM is also "in its early stage" in Iran (*Mohamadhoseinzadeh Hashemi et al., 2019*), while most participants from this country chose EBM in our study.

So, this is unlikely that students from Ghana and Tanzania will choose to study how to promote EBM in clinical practice (*Table 3*) unless there are dedicated efforts by faculty and national policies' clarification regarding EBM. There is also the need to study more 5th-year students from West Asia to increase the reliability of the study results on this issue, according to the subgroup analysis conducted.

More than 10 years ago, a literature review on the issues of EBM training in undergraduate medical education (such as learner levels, instructors' and settings' features, teaching methods and covered EBM skills) was performed by authors from Stanford University (*Maggio et al., 2013*). Having analyzed 20 English-language papers delivered in twelve countries and published in 2006-2011, Maggio and his co-authors recommended that educators who design EBM interventions "consider trends in medical intervention (e.g., online learning, interprofessional

education) and health care (e.g., patient-centered care, electronic health records)" as well (*Maggio et al., 2013*). Regarding our study and further research, this advice is worth considering in the development of ECs on clinical practicing EBM – along with a recommended implementation of an EBM assessment tool (*Çakmakkaya, 2021*).

The benefit of the results of our pilot study is that they open the prospect of improving both the quality of teaching, flexible learning paths, and learning outcomes despite some limitations of their applicability such as sample size and subgroups. The competitiveness of our university and its graduates may increase even in conditions of war and a sharp decline in student migration to Ukraine. It can be reached by improving educational services for international students provided considering both their current level of competence and regional features and needs.

Besides, our study confirms the need to improve curricula by including the components dedicated to specific and systemic health disorders of the elderly, whose share in the population structure will reach 30% in different countries soon.

Implementation of a more student-centered learning and teaching approach in foreign students' cohorts seems to be more effective if ECs consider regional needs and characteristics important for the students. Training workshops should be set up for 6th-year students to improve their competencies and skills needed to practice internal medicine on the principles of EBM, whereas 5th-year students need more studying of complicated parts of the curriculum. An effort is needed to clarify the importance of learning geriatrics to all medical students, just like to guide African students to study more on EBM.

To achieve the best practice in the higher education area, further research in this direction is needed. This is a way to generalize the results of our study and to harmonize curricula given a student-centered learning and teaching approach to improve the quality of medical education in Ukraine and other countries.

Limitations of our study are associated with a sample size concerning some subgroups. An important drawback is the non-inclusion of students from Israel and Syria in a cross-section, which was because they were not taught the discipline "Internal medicine" at our department during the survey. Their features concerning the study's purpose need further investigation.

The controlled nature of students' choice of ECs even at the graduate level is confirmed in our study by the fact that none of the participants chose the proposed option "Other". So, a guiding role of the faculty is essential to implement a more student approach in designing the curriculum. It seems reasonable to develop a more comprehensive questionnaire and conduct a survey in a larger sample size. Concerning this, we note that several questionnaires have been used in the surveys with the lowest response rate of 54,4% (*Moosavi et al., 2020*) and the highest of 100% in our study. In our opinion, this reflects the interest of KMU international medical students in designing curricula considering their educational needs and values.

The overall impression of international medical students' choice of ECs on the EBM issues in internal medicine, rheumatology, and geriatrics at the KMU was as follows: positive attitude and high need. Student-dependent factors influencing their decisions regarding the number and topics of the ECs were both the year of curriculum and the region of origin. Involving senior medical students in designing curriculum is appropriate when ECs are offered to them in several relevant topics on practicing EBM, supplementing current content of the subject discipline,

geriatrics as well. Efforts are needed to broadly explain the importance of learning the basics of geriatrics and to guide undergraduates from Africa to choose courses in EBM.

The development of this scientific direction will contribute to accessing the best management of international medical students in terms of stimulating their motivation, self-reflection, and engagement in designing curriculum by introducing ECs on current medical issues considering both year of study and regional needs and features as the influencing student-related factors. Further research is necessary to improve the quality of higher medical education in Ukraine and other countries, especially in conditions of unstable student migration and when teaching international students.

As was highlighted, teaching EBM is a priority in the healthcare process (*Sabouni et al., 2017*). Concerning this, many methodological and organizational issues will arise soon. The critical aspects of implementing EBM are as follows: infectious control; primary link of healthcare; age groups such as children and older adults; quality, sufficiency, and sources of evidence; acceptance of EBM in different countries considering their national and regional traditions of providing medical care; integration of EBM with an individual approach in health care and personalized medicine; development of evidence-based complementary and alternative medicine, too (*Hashem-Dabaghian et al., 2022*; *Jahangir, 2022*; *Povoroznyuk & Puzanova, 2019*; *Prasad, 2013*; *Puzanova, 2016*; *Revenok et al., 2016*; *Subbiah, 2023*; *Thakkar & Shyam, 2017*). These fields require more attention starting from the undergraduate level of CME.

According to Subbiah, a new era of EBM is coming with new types and sources of evidence (*Subbiah, 2023*). As for epidemic control, there is a need to improve the quality of evidence regarding different infectious diseases, which are still the main health problem in the African region, and this direction is being developed in China (*Mosugu, 2021*; *Nwaichi, 2020*; *Puzanova, 2011*; *Subbiah, 2023*). Thus, the content of EC on implementing EBM in clinical practice considers consideration of these regional features. This direction also required study.

Conclusion

The content of the curriculum should be adapted to the student-centered approach, including the possibility of choosing the current issues in clinical medicine such as EBM approach, etc. We estimated that the choice of international students in ECs topics depends on the year of study and the country of origin. The educators should consider the peculiarities of the healthcare system of different countries when forming a list of optional educational components for international students in their final years of study.

Availability of data and materials

The datasets generated and analyzed during the current study are not publicly available due to the institution's policy but are available on reasonable request.

Author contribution

OP put forward a research hypothesis. BI and OPu designed the research study. OPu performed the research and data collection. OP and BI provided help and advice on technology and language. OP, BI, and OPu analyzed the data. OPu wrote the manuscript. BI conducted a

writing review. All authors contributed to editorial changes in the manuscript. All authors have participated sufficiently in the work and agreed to be accountable for all aspects of the work.

Acknowledgments

The authors wish to acknowledge all students who participated in the survey.

Funding

This research received no external funding.

Conflict of interest

The authors declare that they have no competing interests.

References:

Abeysena, C. et al. (2010). Evidence-based medicine knowledge, attitudes, and practices among doctors in Sri Lanka. *Journal of Evidence-Based Medicine*, *3*(2), 83-87. https://doi.org/10.1111/j.1756-5391.2010.01077.x

Adamyk, V. V., & Diachuk, Kh. (2023). International student migration: current trends and challenges for developing countries. *Herald of Economics*, *1*, 80-93. (In Ukrainian). http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/49843/1/%D0%90%D0%B4%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BA.PDF

Ahmad Ghaus, M. G. et al. (2021). Knowledge, attitude, and practice of evidence-based medicine among emergency doctors in Kelantan, Malaysia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(21), 11297. https://doi.org/10.3390/ijerph182111297

Alabdullah, M. N. et al. (2022). Knowledge, attitude, and practice of evidence-based medicine among resident physicians in hospitals of Syria: a cross-sectional study. *BMC Medical Education*, *22*, 785. https://doi.org/10.1186/s12909-022-03840-7

Ambulkar, R. et al. (2017). Evidence-based medicine: A survey among perioperative health care professionals in India. *Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology*, *33*(4), 487-492. https://doi.org/10.4103/0970-9185.222508

Brenzovych, K. S., & Nemesh, Y. P. (2017). International student migration and its impact on the socio-economic development. *Economy and Society*, *10*, 32-36. (In Ukrainian). https://economyandsociety.in.ua/journals/10_ukr/7.pdf

Çakmakkaya, Ö. S. (2021). Formal evidence-based medicine instruction in Turkish undergraduate medical education: An initial evaluation. *BMC Medical Education, 21*(1), 437. https://doi.org/10.1186/s12909-021-02876-5

Coşkun, Ö. et al. (2023) How does evidence-based medicine training affect medical students' views on traditional, complementary, and alternative medicine and the conspiracy theories about COVID-19: A nationwide study. *Primary Health Care Research & Development, 24*, e65. https://doi.org/10.1017/S1463423623000464

Gruzieva, T., & Puzanova, O. (2015). Information support of primary health care professionals on evidence-based prevention. *Ukraina. Zdorov'ja natsii (Ukraine. Nation's health), 2*, 91-95. (In Ukrainian). https://docplayer.net/67208283-Ukrayina-zdorov-ya-naciyi.html

Hashem-Dabaghian, F. et al. (2022). Developing evidence-based medicine in Persian medicine: obstacles, challenges, and solutions. *TMR Integrative Medicine*, *6*, e22027. https://doi.org/10.53388/TMRIM202206027

Iloh, G. P. et al. (2020). Attitude, practice orientation, benefits and barriers towards health research and publications among medical practitioners in Abia State, Nigeria: A cross-sectional study. *Nigerian Journal of Clinical Practice, 23*(2), 129.

Jahangir, A. (2022). The illusion of evidence-based medicine. *Iranian Journal of War and Public Health, 14*(3), 359-360. https://doi.org/10.29252/ijwph.14.3.359

Kharaghani, R. et al. (2016). The Iranian integrated maternal health care guideline based on evidence-based medicine and American guidelines: A Comparative Study. *Modern Care Journal, 13*(2), e9455. https://doi.org/10.17795/modernc.9455

Maggio, L. A. et al. (2013). Evidence-based medicine training in undergraduate medical education: a review and critique of the literature published 2006-2011. *Academic Medicine, 88*(7), 1022-1028. https://doi.org/10.1097/ACM.0b013e3182951959

Mohamadhoseinzadeh Hashemi, F. et al. (2019). Prioritizing the factors affecting evidence-based medicine in physicians affiliated to Iranian health insurance. *Journal of Community Health Research, 8*(2), 76-82. https://doi.org/10.18502/jchr.v8i2.1177

Moosavi, A. et al. (2020). Evidence-based medicine among health-care workers in hospitals in Iran: A nationwide survey. *Journal of Education and Health Promotion, 9*, 365. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_335_20

Moradi, S., & Hosseini, A. (2017). Iranian traditional medicine and evidence-based medicine: an overview of dialogue between two paradigms. *BMJ Open.* https://doi.org/ 10.1136/bmjopen-2016-015415.183

Mosugu, T. (2021). An evidence-based management approach to HIV/AIDS in Nigeria. *World Journal of AIDS, 11*, 120-142. https://doi.org/10.4236/wja.2021.113010

Narges, K. et al. (2013). The obstacles of teaching evidence-based medicine in Iran, from the viewpoint of clinical academics and medical students; a qualitative study. *American Journal of Educational Research, 1*(4), 143-148. https://doi.org/10.12691/education-1-4-5

Nwagwu, W. (2008). Levels of consciousness and awareness about evidence-based medicine among consultants in tertiary health care institutions in Nigeria. *Health Information & Libraries Journal, 25*(4), 278-87. https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2008.00768.x

Nwaichi, E. O. et al. (2020). Institutionalizing an evidence-based practice in a selected government agency in Nigeria. *bioRxiv,* 2020.12.21.423750. https://doi.org/https://doi.org/10.1101/2020.12.21.423750

Oluwadiya, K. et al. (2024). Evaluation of evidence-based medicine adoption among Nigerian surgeons: competence, knowledge, attitudes, practices, and barriers. *Croatian Medical Journal*, *65*, 3-12. https://doi.org/10.3325/cmj.2024.65.3

Povoroznyuk, V. V., & Puzanova, O. G. (2019). Information support of evidence-based managing of patients with musculoskeletal disorders in primary health care. *Pain. Joints. Spine, 9*(4). https://doi.org/10.22141/2224-1507.9.4.2019.191922

Prasad, K. (2013). Evidence-based medicine in India. *Journal of Clinical Epidemiology, 66*(1), 6-9. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2012.07.006

Puzanova, O. G. (2011). Evidence based medicine in China: features and prospects. *Scientific Bulletin of O.O. Bohomolets National Medical University*, *4*, 56-63. (In Ukrainian)

Puzanova, O. H. (2016). Evidence based medical prevention: international experience. *Family Medicine) 6*(68), 34-37. (In Ukrainian)

Puzanova, O. G. (2018). Problems of evidence-based management of the patients with musculoskeletal disorders. *The Chronicle of traumatology and orthopedics*, *1-2*(37-38), 157-160. (In Ukrainian)

Revenok, K. M. et al. (2016). Evidence based approach in internal medicine: development and the perspectives. *Practical Doctor*, *5*(3), 73-80. (In Ukrainian). https://plr.com.ua/index.php/journal/article/view/161/140

Sabouni, A. et al. (2017). Multiple strategy peer-taught evidence-based medicine course in a poor resource setting. *BMC Medical Education, 17*, 82. https://doi.org/10.1186/s12909-017-0924-1

Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area (ESG). (2015). Approved by the Ministerial Conference in Yerevan, May 14-15, 2015. https://www.eqar.eu/assets/uploads/2018/04/ESG_2015.pdf

Subbiah, V. (2023). The next generation of evidence-based medicine. *Nature Medicine, 29*, 49-58. https://doi.org/10.1038/s41591-022-02160-z

Thakkar, C. J., & Shyam, A. (2017). Evidence-based medicine: Why there is a low acceptance in countries like India? *Journal of Orthopaedic Case Reports, 7*(6). 1-2. https://doi.org/10.13107/jocr.2250-0685.920

UN Decade of healthy ageing: Plan of action 2021-2030. (2021). https://www.who.int/initiatives/decade-of-healthy-ageing

Yehualashet, D. E. et al. (2021). Factors associated with practicing evidence-based medicine among medical interns in Amhara regional state teaching hospitals, Northwest Ethiopia: A cross-sectional study. *Advances in Medical Education and Practice, 12*, 843-852. https://doi.org/10.2147/AMEP.S320425

Zanaridah, M. N. et al. (2021). Knowledge, attitude and practice of evidence-based medicine among primary care practitioners in Malaysia: a cross-sectional study. *BMJ Open, 11*(6), e044372. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-044372

Appendix

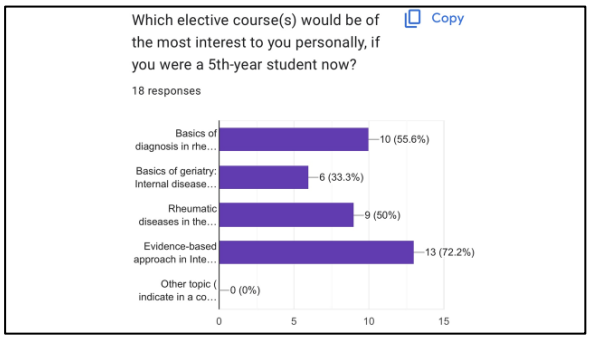


Figure 1. The results of a survey of 18 international undergraduates of Kyiv Medical University about their choice of ECs, collected at the end of a studying the discipline "Internal medicine" in their 11th semester.

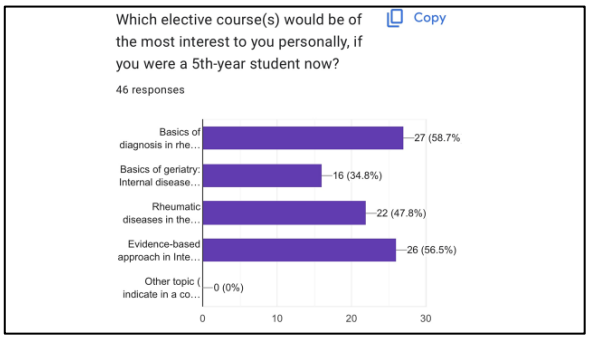


Figure 2. The results of a survey of 46 international medical students of Kyiv Medical University, including 18 undergraduates and 28 5th-year students, about their choices of ECs, collected at the end of studying the discipline "Internal Medicine" in their 11th and 10th semester, respectively

Table 1. Descriptive statistics of participants' choice of ECs given their gender and year of university study

Issue	**6th year students (n=18)**			**5th year students (n=28)**			**Total (n=46)**		
	Men (n=9)	Women (n=9)	Total (n; % of 18)	Men (n=13)	Women (n=15)	Total (n; % of 28)	Men (n=22; % of 22)	Women (n=24; % of 24)	Total (n; % of 46)
Number of ECs chosen:									
–one	1	5	6; 33,33	6	8	14; 50,00	7; 31,82	13; 54,17	20; 43,48
–two	5	2	7; 38,89	2	3	5; 17,86	7; 31,82	5; 20,83	12; 26,08
–three	2	0	2; 11,11	4	3	7; 25,00	6; 21,43	3; 12,50	9; 19,60
–four	1	2	3; 16,67	1	1	2; 7,14	2; 9,09	3; 12,50	5; 10,90
Average number of ECs per student	38:18=2,11			48:28=1,71			(38+48):46=1,87		
Now often an EC was chosen?									
RDs	7	3	10; 55,56	9	8	17; 60,71	16	11	27; 58,70
Geriatrics	3	3	6; 33,33	5	5	10; 35,71	8	8	16; 34,78
EBM	6	7	13; 72,22	8	5	13; 46,43	14	12	26; 56,52

Notes: RDs – a topic "Basics of diagnosis in rheumatology" (№ 1); Geriatrics – a topic "Basics of geriatrics" (№ 2); EBM – a topic "Evidence based approach in internal medicine" (№ 4).

Table 2. Regional features of a choice of ECs by participants (n=46) coming from different regions and countries of Asia and Africa

Region, total number of students (n) & their share (%) in the study cohort	Countries, from which participants came	Features of participants' choice of ECs
South Asia (n=15; 32,61 %)	India (n=10): 6 undergraduates and 4 5th year students	EBM was chosen by 83,33% undergraduates (5 out of 6) and half of 5th-year students (2 out of 4), in total by 70% of participants – men and women (3 and 4 respectively), none of whom was graded A or D in the discipline "Internal medicine" (4 were graded C, 3 – B). EBM was the most popular topic for 6th-year students, but not for 5th-year participants, 100% of whom voted for a topic "Rheumatic diseases: basics of diagnosis". Average number of ECs per student was 2 and 2,25 for the 6th- and 5th-year cohorts respectively. Regardless of year of study, half of participants chose only one EC.
	Pakistan (n=4): 1 undergraduate and three 5th year students	There were no women in this group. Average number of ECs per student – 2,75. Regardless of current performance in internal medicine (students were graded A or C), the most popular topic was "Rheumatic diseases: basics of diagnosis", and the issues of EBM was of interest to 75% of participants.
	Sri Lanka (n=1): an undergraduate	He was graded A in internal medicine and chose both topics "EBM in internal medicine" and "Rheumatic diseases in the elderly and of the elderly". Average number of ECs per student – 2,00.
	Total – 15, with a share of Indians of 66,67%. 8 undergraduates and 7 5th year students, of whom 10 men and 5 women (male to female ratio 1:1 and 6:1 responsively)	A topic "EBM in internal medicine" was chosen by a majority in this cohort (11 out of 15; 73,33%), both among undergraduates (7 out of 8; 87,5%) and 5th year students (4 out of 7; 57,14%). All 5th year students were Indians and Pakistanis and preferred to improve their competence in rheumatology; the ECs dedicated to EBM, geriatrics and geriatric issues of rheumatology were taken each by 57,14%. In general, the EBM course was chosen by all students from Pakistan and Sri Lanka and most Indians (70%).
West Asia (n=5; 10,87 %)	Iran (n=4): 3 undergraduates and one 5th-year student	Most of them (75%) chose the course on EBM and preferred two elective courses. EBM was taken by all undergraduates: 2 women graded A in internal medicine and a man graded B. EBM was not chosen by a 5th-year female student who was graded A in internal medicine and voted for

		the topics "Basics of geriatrics" and "Rheumatic diseases in the elderly".
	Türkiye (n=1): an undergraduate	EBM was chosen along with a topic "Rheumatic diseases: basics of diagnosis" by a single participant from this country – a female graded A in internal medicine.
	Total – 5, of whom 80% were undergraduates, women, Iranians and those who were graded A in internal medicine	Most (80,00 %) chose EBM and two ECs. In general, EBM was chosen by three women and a man graded A and B responsively in the discipline "Internal medicine".
West and East Africa (n=26; 56,52 %)	Nigeria (n=22): 4 undergraduates and 18 5th-year students	EBM was chosen by half of Nigerian participants regardless of their gender, year of study and current performance in internal medicine. Average number of ECs per student was 2,11 and 1,83 for the 6th and 5th year cohorts respectively. Undergraduates chose mostly "Rheumatic diseases: basics of diagnosis", whereas 5th year students voted for EBM or "Rheumatic diseases in the elderly" almost equally often.
	Ghana (n=2): one each in the 5th- and 6th-year of study	None of them chose EBM, however both were graded A in internal medicine and chose for the "Rheumatic diseases in the elderly". Only this topic was chosen by a 5th-year female student, whereas a 6th year male participant voted for this EC and the related topics № 1 and 2, too.
	Tanzania (n=2): one each in the 5th- and 6th-year of study	None of these women chose EBM, however both chose for "Rheumatic diseases in the elderly". Only this topic was taken by a 5th-year participant (grade A in internal medicine), whereas a 6th-year student (grade B in internal medicine) chose the related topic № 2, too.
	Total – 26, with a share of Nigerians of 84,62%	No more than half of participants chose a topic "EBM in internal medicine" regardless their year at university, and Nigerian 6th-year students found this topic less interesting than the less integrative "Rheumatic diseases: basics of diagnosis". EBM was not chosen by participants from Ghana and Tanzania.

Table 3. Choice for elective course "Evidence based approach in internal medicine" by participants depending on regions and countries, from which they came

Regions and countries, from which the students came	6th year students		5th year students		Total (n=46)	
	Number and share (%) of those who chose a topic dedicated to EBM					
	13 (out of 18; 72,22%)		13 (out of 28; 46,43%)		26 (out of 46; 56,52%)	
South Asia	7 (out of 8)	87,50	4 (out of 7)	57,14	11 (out of 15)	73,33
India	5 (out of 6)	83,33	2 (out of 4)	50,00	7 (out of 10)	70,00

Pakistan	1 (out of 1)	100,00	2 (out of 3)	66,67	3 (out of 4)	75,00
Sri Lanka	1 (out of 1)	100, 00	–	–	1 (out of 1)	100,00
West Asia	4 (out of 4)	100,00	0 (out of 1)	0	4 (out of 5)	80,00
Iran	3 (out of 3)	100,00	0 (out of 1)	0	3 (out of 4)	75,00
Türkiye	1 (out of 1)	100,00	–	–	1 (out of 1)	100,00
Africa	2 (out of 6)	33,33	9 (out of 20)	45,00	11 (out of 26)	42,31
Nigeria	2 (out of 4)	50,00	9 (out of 18)	50,00	11 (out of 22)	50,00
Ghana	0 (out of 1)	0	0 (out of 1)	0	0 (out of 2)	0
Tanzania	0 (out of 1)	0	0 (out of 1)	0	0 (out of 2)	0

DOI 10.47451/med2024-05-02

Yaroslav Y. Voitiv[27], *Valentyn Y. Smorzhevskyi*[28]

Analysis of the genetic determination of developing eventration in patients with abdominal surgical pathology [13]

Abstract: Eventration is one of the most dangerous complications in abdominal surgery, which occurs in 0.2-7% (2% on average) of patients after laparotomy. The event leads to the development of intestinal obstruction, postoperative peritonitis, and the formation of intestinal fistulas. Despite the fact that the role of impaired regeneration and repair processes in the occurrence of events is undeniable, scientific publications and research at the modern methodological level on this topic are insufficient, and existing ones mainly concern the development of postoperative ventral hernias. The purpose of the study was to conduct an analysis of genetic determination of the development of eventrations, based on the frequency of polymorphic variants of matrix metalloproteinase-2 (C^{-1306}→T) (MMP-2) and tissue inhibitor of matrix metalloproteinase-2 (G^{303}→A) (TIMP-2) genes. The subjects of the study were 19 patients with eventrations and 44 patients with connective tissue pathology. The data obtained by us from the study of polymorphic variants of the MMP-2 (C^{-1306} →T) and TIMP-2 (G^{303}→A) genes in the Ukrainian population generally correspond to the population frequencies in the European population and the USA. All models of inheritance were analyzed, and the best model with the lowest Aikaike information criterion was determined, which turned out to be a recessive model. As a result of the genetic and statistical analysis of polymorphism of MMP-2 (C^{-1306} →T) and TIMP-2 (G^{303}→A) genes, it was established that polymorphic variants of these genes are not reliably associated with the development of eventration.

Keywords: postoperative complications, eventration, MMP-2, TIMP-2, genetic determination.

Ярослав Юрійович Войтів, *Валентин Йосипович Сморжевський*

Аналіз генетичної детермінації розвитку евентрацій у хворих з абдомінальною хірургічною патологією

Анотація: Евентрація – це одне з найбільш небезпечних ускладнень в абдомінальній хірургії, яке зустрічається у 0,2-7% (2% в середньому) пацієнтів після лапаротомій. Евентрація призводить до розвитку кишкової непрохідності, післяопераційного перитоніту, формування кишкових нориць. Не дивлячись на те, що роль порушення регенераційних та репараційних процесів у виникненні евентрацій є безсумнівною, наукових публікацій та досліджень на сучасному методичному рівні на цю тему недостатньо, а існуючі, переважно стосуються розвитку післяопераційних вентральних гриж. Метою дослідження було провести аналіз генетичної детермінації розвитку евентрацій, на основі частоти поліморфних варіантів генів матриксної металопротеїнази-2 (C^{-1306}→T) (MMP-2) та тканинного інгібітора матриксної металопротеїнази-2 (G^{303}→A) (TIMP-2). Об'єктом дослідження були 19 пацієнтів з евентраціями та 44 пацієнти з патологією сполучної тканини. Отримані нами дані дослідження поліморфних варіантів генів MMP-2 (C^{-1306} →T) та TIMP-2 (G^{303}→A) в українській популяції, в цілому, відповідають популяційним частотам у європейській популяції та США. Проаналізовано усі моделі успадкування, та визначено найкращу модель із найнижчим інформаційним критерієм Айкайке, якою виявилась рецесивна модель. У результаті генетичного та статистичного аналізу поліморфізму генів MMP-2 (C^{-1306} →T), та TIMP-

2 ($G^{303}\rightarrow A$) встановлено, що поліморфні варіанти вказаних генів достовірно не асоціюють з розвитком евентрації.

Ключові слова: післяопераційні ускладнення, евентрація, MMP-2, TIMP-2, генетична детермінація.

Вступ

Евентрація – це очеревинний та м'язово-апоневротичний дефект черевної стінки після лапаротомії, внаслідок чого створюються умови для розгерметизації черевної порожнини і виходу внутрішніх органів за її межі (*Rodríguez-Hermosa et al., 2005*; *Бойко та ін., 2022*).

Це одне з найбільш небезпечних ускладнень в абдомінальній хірургії, яке зустрічається у 0,2-7% (2% в середньому) пацієнтів після лапаротомій (*Gembal et al., 2006*). Евентрація призводить до розвитку кишкової непрохідності, післяопераційного перитоніту, формування кишкових нориць (*Marjanovic & Hopt, 2011*).

Найчастішими факторами ризику є: вік старше 65 років, нестабільна гемодинаміка, підвищений внутрішньочеревний тиск, ургентні операції, гіпопротеїнемія, анемія, операції на товстій кишці та інші. Окремо виділяють місцеві сприяючі фактори, такі як: недосконалість хірургічної техніки, невірна тактика хірурга при закритті лапаротомної рани. Однією з причин, яка найчастіше викликає евентрацію є нагноєння післяопераційної рани (*Colozzi et al., 2016*).

Не дивлячись на те, що роль порушення регенераційних та репараційних процесів у виникненні евентрацій є безсумнівною, наукових публікацій та досліджень на сучасному методичному рівні на цю тему недостатньо, а існуючі, переважно стосуються розвитку післяопераційних вентральних гриж (*Harrison et al., 2016*).

Необхідне поглиблене вивчення механізмів репарації та причин її порушень в ділянці формування післяопераційного рубця.

З огляду на майже не досліджену роль генетичної схильності у розвитку післяопераційних ускладнень, а саме, евентрацій, ми задались метою вивчити поліморфізм генів, що кодують матриксну металопротеїназу 2-го типу (MMP-2) та тканинний інгібітор матриксних металопротеїназ 2-го типу (TIMP-2) у даної групи хворих. Обрання саме цих генів не було випадковим — ми керувалися основними відомими патофізіологічними механізмами, які беруть участь у формуванні післяопераційного рубця (*Visse & Nagase, 2003*).

Матриксні металопротеїнази (MMP) – це група ензимів, представлена цистеїновими, сериновими, аспартильними і металозалежними протеїназами. MMP відіграють основну роль в обміні білків сполучної тканини, беруть участь у багатьох фізіологічних та патологічних процесах. MMP-2,9 виявляють високу спорідненість до колагену IV типу, тому іноді їх називають колагеназами IV типу. MMP-2 займають центральну позицію в регулюванні балансу між процесами синтезу та протеолізу в позаклітинному матриксі, впливають на реалізацію фізіологічних процесів та патологічних змін в організмі. Основними регуляторами матриксних металопротеїназ є тканинні інгібітори

металопротеїназ – TIMP. Усі 4 групи TIMP здатні пригнічувати протеоліз латентних форм та інгібувати активні форми MMP, але TIMP-1 активніший щодо MMP-9, а TIMP-2 виявляє специфічність стосовно MMP-2 (*Fassina et al., 2000*).

Автори задались метою провести аналіз генетичної детермінації розвитку евентрацій, на основі частоти поліморфних варіантів генів матриксної металопротеїнази-2 (C^{-1306}→T) (MMP-2) та тканинного інгібітора матриксної металопротеїнази-2 (G^{303}→A) (TIMP-2).

Об'єктом дослідження були 63 пацієнти, що лікувались у ДУ «ННЦХТ імені О.О. Шалімова», з яких 19 хворих з післяопераційними евентраціями, 44 пацієнти з фенотипічними ознаками недиференційованої дисплазії сполучної тканини (НДСТ). Для оцінки поліморфізму генів в популяції обстежено 80 практично здорових людей, які співставні за віком і статтю з досліджуваними. Недиференційовану дисплазію сполучної тканини діагностували за напрацьованою методикою (патент України на корисну модель №120158 UA). Ступінь дисплазії оцінювали за оригінальною клінічною скринінг-шкалою, напрацьованою на основі таблиці критеріїв вираженості дисплазії сполучної тканини за Т.Ю. Смольновою (2003) (*Voitiv et al., 2020*).

Генетичні дослідження проводили в лабораторії відділу загальної та молекулярної патофізіології Інституту фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України. Забір букального епітелію проводився з використанням букальних щіток з наступним заморожуванням зразків та їх зберіганням при температурі -20°C. ДНК для генотипування екстрагували із зразків з використанням наборів Diatom™ Prep 200, відповідно до протоколу виробника.

Методом ПЛР у реальному часі досліджували наступні поліморфізми: C^{-1306} →T (MMP2), rs243865 та G^{303}→A (TIMP2), rs9900972. Реакції ампліфікації проводили з використанням Fast Real-time PCR System (Applied Biosystems, США) в кінцевій реакції об'ємом 20 мкл, який містив 2X TaqMan Універсальний Master Mix (Applied Biosystems, США), assay C_1792560_10 і матричну ДНК. Ампліфікація фрагментів генів складалася зі стадії денатурації при 95°C протягом 20 с, а потім 40 циклів ампліфікації при 95°C протягом 3 с і 60°C протягом 30 сек. Аналіз даних проводився з 7500 Fast Real-Time PCR Software (Applied Biosystems, Foster City, USA).

Основну частину статистичного аналізу було проведено з використанням програми «Statistica 9.0» (SPSS) та Excel 2016. Номінальні дані подано у вигляді кількісних та відсоткових значень. Достовірність відмінностей середніх величин у групах із різними генотипами визначали за допомогою методики однофакторного статистичного аналізу. Відповідність розподілу генотипів перевіряли за допомогою тесту Харді – Вайнберга. Для порівняння розподілу генотипів у дослідній та контрольній групах застосовували χ^2-критерій Пірсона.

Результати дослідження

У досліджуваній групі пацієнтів з евентраціями, переважну більшість склали хворі після ургентних операцій з приводу поширеного перитоніту (5), гострої кишкової непрохідності (6), деструктивного панкреатиту (4), торакоабдомінальної травми (2), резекційних операцій на товстій кишці (2).

В обстежених нами пацієнтів з евентраціями травлення ознаки НДСТ виявлені у 11 (63,6%) пацієнтів. Найчастіше зустрічались наступні фенотипічні синдроми НДСТ: вісцеральний (85,7%) та аритмічний (57,2%) синдроми.

З метою виявлення можливої асоціації поліморфних варіантів генів ММР-2 (C^{-1306} →T), та TIMP2 (G^{303}→A) із ризиком розвитку зовнішніх кишкових нориць був проведений однофакторний статистичний аналіз частоти генотипів у досліджуваних групах пацієнтів (*Таблиця 1*).

При аналізі моделей успадкування гену ММР-2 (C^{-1306}→T), а саме: кодомінантної, домінантної, рецесивної, наддомінантної та адитивної у групах контролю (n=80) та дослідної групи 1 з фенотипічними ознаками НДСТ (n=44) виявлено, що розподіл генотипів відповідає закону Харді- Вайнберга (p>0,05). Використавши тест χ^2 із 2 ступенями свободи, нам не вдалося виявити статистично значущі відмінності у розподілі генотипів в групі хворих та в групі практично здорових людей (p>0,05).

Проаналізувавши усі моделі успадкування, ми вибрали найкращу модель із найнижчим інформаційним критерієм Айкайке. Такою моделлю виявилася рецесивна модель, для якої в таблиці нижче наведені значення відношення шансів, статистична значущість, а також інформаційний критерій Айкайке (*Таблиця 2*).

Аналіз мультиплікативної моделі успадкування гену ММР-2 (C^{-1306}→T), при порівнянні групи контролю (n=80) та дослідної групи 2 з евентраціями (n=11) засвідчив відповідність розподілу генотипів до закону Харді-Вайнберга (p>0,05). Використавши тест χ^2 із 2 ступенями свободи ми не знайшли статистично значущі відмінності у розподілі генотипів в групі хворих та в групі практично здорових людей (p>0,05).

Проаналізувавши усі моделі успадкування, ми вибрали найкращу модель із найнижчим інформаційним критерієм Айкайке (*Таблиця 3*)

При аналізі частоти алельного поліморфізму гену ММР-2 виявлено, що носіїв домінуючого в усіх групах СС-генотипу було найбільше у групі з фенотипічними ознаками НДСТ (дослідна 1): 59,1% проти 47,5% (p>0,05) в контролі (*Діаграма 1*). Тоді як носіїв гомозиготного ТТ-генотипу, в дослідній 1 групі, було більш як вдвічі менше (4,5% проти 10% (p>0,05)). У дослідних 2 групі з евентраціями розподіл частоти поліморфізму промотору гену ММР-2, загалом, відповідав показникам контрольної групи по СС, СТ і ТТ варіантам. При порівнянні з дослідною 1 групою (фенотипічні ознаки НДСТ) розподіл співпадав по СС і СТ алелям, носіїв гомозиготного ТТ генотипу було вдвічі менше (4,5% проти 9,1% (p>0,05)).

При аналізі моделей успадкування TIMP-2 (G^{303}→A), у групах контролю (n=80) та дослідної групи 1 з фенотипічними ознаками патології сполучної тканини (n=44) нам не вдалося виявити статистично значущі відмінності у розподілі генотипів в групі хворих та у групі практично здорових людей (p>0,05) (*Таблиця 4*).

При аналізі алельного поліморфізму промотору гена TIMP-2 (G^{303}→A), у групах контролю (n=80) та дослідної групи 2 з евентраціями (n=11) відмінності частоти розподілу генотипів були на статистично недостовірними.

Відповідність розподілу генотипів до закону Харді-Вайнберга у дослідній 2 групі була перевірена з допомогою тесту χ^2 із 1 ступенем свободи, без використання корекції Йетса.

Проаналізувавши усі моделі успадкування, ми вибрали найкращу модель із найнижчим інформаційним критерієм Айкайке (*Таблиця 5*).

В обстеженій популяції у групі контролю та у дослідній групі 1 розподіл носіїв GG, GA та AA генотипів загалом був схожим (*Діаграма 2*). Проте, у групі пацієнтів з евентраціями (дослідна 2) розподіл носіїв генотипів GG, GA відрізнявся. Так, гомозиготний GG варіант домінував у контрольній та дослідній 1 групі (50% та 54,5% відповідно), тоді як у групі пацієнтів з евентраціями гомозиготний GG та гетерозиготний GA генотип зустрічався однаково часто (45,5%). Гетерозиготний GA генотип у дослідній групі 2 зустрічався удвічі рідше, ніж у контролі (21,1% проти 40%, p=0,057) та в 1,6 рази рідше ніж у дослідній 1 групі (p>0,05). Кількість носіїв гомозиготного AA генотипу в досліджуваних групах суттєво не відрізнялись (*Діаграма 2*).

Отримані нами дані дослідження поліморфних варіантів генів MMP-2 (C^{-1306} →T) та TIMP-2 (G^{303}→A) в українській популяції (n=80), в цілому, відповідають популяційним частотам у європейській популяції та США (*Xu et al., 2004*). При цьому, ми встановили суттєві відмінності при порівнянні з популяціями африканської та азіатської раси (*Li et al., 2010*). Цікавим є те, що у вказаних популяціях частота основного C алеля гена MMP-2 (rs243865) становила 93,7% (Африка) та 90% (Азія), що значно перевищує показники нашої контрольної групи (76%) та європейської популяції (75,5%). Тоді як, мінорний T алель зустрічався у 24% контрольної групи, і в 10% (Азія) та 6,7% (Африка), відповідно.

При аналізі частоти алельного поліморфізму гена MMP-2 та TIMP-2 у дослідній групі 2 не було виявлено статистично достовірних відмінностей у порівнянні з контролем. Розподіл частоти поліморфізму промотору гену MMP-2, загалом, відповідав показникам контрольної групи по CC, CT і TT варіантам.

Дискусія

У результаті генетичного та статистичного аналізу поліморфізму генів MMP-2 (C^{-1306}→T), та TIMP-2 (G^{303}→A) встановлено, що поліморфні варіанти вказаних генів достовірно не асоціюють з розвитком евентрації.

Враховуючи роль матриксних металопротеїназ та їх інгібіторів у процесах синтезу та протеолізу, ремоделюванні екстрацелюлярного матриксу, обміні білків сполучної тканини, здатність впливати на проникність судинної стінки та ангіогенез актуальність їх вивчення у контексті патогенезу виникнення евентрацій є безсумнівною.

Виявлені нами особливості алельних варіантів генів MMP-2 (C^{-1306} →T), та TIMP-2 (G^{303}→A) у групах пацієнтів з евентраціями та патологією сполучної тканини є підставою для подальшого вивчення та пошуку молекулярно-генетичних маркерів, що кодують основні ланки патогенезу післяопераційних ускладнень.

Висновки

Таким чином, алельний поліморфізм промотору генів MMP-2 (C^{-1306}→T) та TIMP-2 (G^{303}→A) у пацієнтів з евентраціями статистично вірогідно не відрізняться від показників контрольної групи.

Розвиток евентрацій не підтвердив наявність генетичного тригера з боку досліджених поліморфізмів, що може свідчити про підтвердження класичної теорії

патогенезу цього ускладнення, а саме ранева інфекція, технічні помилки, різкі метаболічні порушення тощо.

Молекулярно-генетичні дослідження є новим перспективним напрямом для напрацювання сучасних персоніфікованих діагностичних критеріїв та моделей прогнозування розвитку та перебігу післяопераційних ускладнень.

Конфлікти інтересів

Автори заявили, що конфлікту інтересів немає.

Список джерел інформації:

Бойко, В. В. та ін. Профілактика евентрацій після повторних операцій на органах черевної порожнини // Харківська хірургічна школа. – 2022. – Вип. 2(53). – С. 11-12. [Boyko, V. V. et al. (2022). Prevention of events after repeated operations on the abdominal organs. *Kharkiv Surgical School*, *2*(53), 11-12. (In Ukrainian)]

Colozzi, S. et al. (2016). Early postoperative eventration: Surgical treatment with use of biological prosthesis. *Journal of Clinical Case Report*, 1-6. https://doi.org/10.4172/2165-7920.1000773

Fassina, G. et al. (2000). Tissue inhibitors of metalloproteases: Regulation and biological activities. *Clinical & Experimental Metastasis*, *18*, 111-120.

Gembal, P. et al. (2006). Eventrations--the prospective analysis of risk factors of eventrations patients after laparotomy treated in 8 surgical departments of Podkarpacie District. *Wiad Lek*, *59*, 767-771.

Harrison, B. et al. (2016). Collagenopathies-implications for abdominal wall reconstruction: A systematic review. *Plastic and Reconstructive Surgery Global Open*, *4*(10), 1036. https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000001036

Li, Y. et al. (2010). Association of functional polymorphisms in MMPs genes with gastric cardia adenocarcinoma and esophageal squamous cell carcinoma in high incidence region of North China. *Molecular Biology Reports*, *37*(1), 197-205.

Marjanovic, G., & Hopt, U. (2011). Physiologie der Anastomosenheilung. *Chirurg*, *82*, 41-47 (2011). (In German). https://doi.org/10.1007/s00104-010-1898-2

Rodríguez-Hermosa, J. I. et al. (2005) Risk factors for acute abdominal wall dehiscence after laparotomy in adults. *Cirugia espanola*, *77*, 280-286.

Visse, R., & Nagase, H. (2003). Matrix metalloproteinases and tissue inhibitors of metalloproteinases: Structure, function, and biochemistry. *Cardiovascular Research*, 2, 827-839.

Voitiv, Y. et al. (2020). Analysis of polymorphism of matrix metalloproteinase-2 (C-1306→T) and tissue inhibitors of metalloproteinase-2 (G303→A) genes in patients with anastomotic leak in hollow digestive organs. *Georgian Medical News*, *307*, 7-12. PMID: 33270569.

Xu, E. et al. (2004). A single nucleotide polymorphism in the matrix metalloproteinase-2 promoter is associated with colorectal cancer. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, *324*, 999-1003.

Додатки

Таблиця 1. Розподіл поліморфних варіантів генів MMP-2 (C^{-1306} →T), rs243865 та TIMP-2 (G^{303}→A), rs9900972 у досліджуваних групах

Досліджуваний ген		Контрольна група n=80 (%)	Дослідна група 1 (з фенотипічними ознаками ДСТ) n=44 (%)	Дослідна група 2 (з евентраціями) n=19 (%)
MMP-2 (C^{-1306} →T)	**CC**	38 (47,5%)	26 (59,1%)	10 (54,5%)
	CT	34 (42,5%)	16 (36,4%)	6 (36,4%)
	TT	8 (10%)	2 (4,5%)	3 (9,1%)
Тест Харді–Вайнберга (χ^2, p)		χ^2=0,01, p>0,05	χ^2=0,05, p>0,05	χ^2=0,01, p>0,05
Тест χ^2, (χ^2, p)		-	χ^2=2,051, p>0,05	χ^2=0,195, p>0,05
TIMP-2 (G^{303}→A),	**GG**	50 (50%)	24 (54,5%)	8 (45,5%)
	GA	32 (40%)	15 (34,1%)	8 (45,5%)
	AA	8 (10%)	5 (11,4%)	3 (9,1%)
Тест Харді–Вайнберга (χ^2, p)		χ^2=0,18, p>0,05	χ^2=1,15, p>0,05	χ^2=0,18, p>0,05
Тест χ^2, (χ^2, p)		-	χ^2=0,425, p>0,05	χ^2=0,119, p>0,05

Таблиця 2. Відношення шансів для рецесивної моделі успадкування пацієнтів з фенотипічними ознаками НДСТ. Відношення шансів з 95% довірчим інтервалом

Генотип	Контрольна група n=80 (%)	Дослідна група 1 (з фенотипічними ознаками НДСТ) n=44 (%)	Відношення шансів	p-value	AIC
CC+CT	72 (90%)	42 (95.5%)	1.00		
TT	8 (10%)	2 (4.5%)	0.43 (0.06 - 1.81)	0.3	16.12

Таблиця 3. Відношення шансів для рецесивної моделі успадкування у пацієнтів з евентраціями. Відношення шансів з 95% довірчим інтервалом

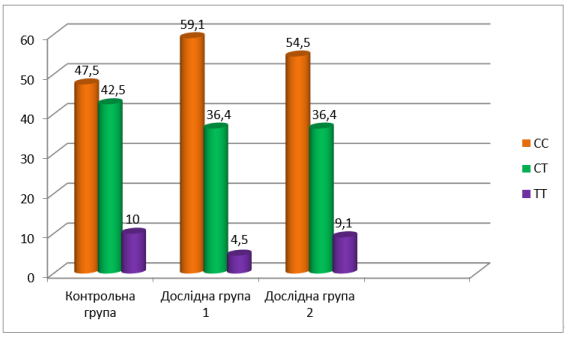
Генотип	Контрольна група n=80 (%)	Дослідна група 2 (з евентраціями) n=19 (%)	Відношення шансів	p-value	AIC
CC+CT	72 (90%)	17 (90.9%)	1.00		
TT	8 (10%)	2 (9.1%)	0.9 (0.05 - 5.71)	0.92	12.74

Таблиця 4. Відношення шансів для рецесивної моделі успадкування у пацієнтів з фенотипічними ознаками НДСТ. Відношення шансів з 95% довірчим інтервалом

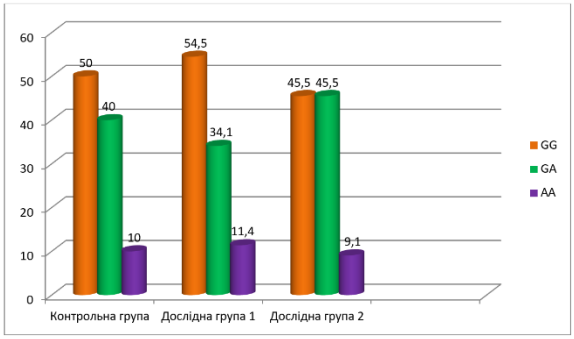
Генотип	Контрольна група n=80 (%)	Дослідна група 1 (з фенотипічними ознаками НДСТ) n=44 (%)	Відношення шансів	p-value	AIC
GG+GA	72 (90%)	39 (88.6%)	1.00		
AA	8 (10%)	5 (11.4%)	1.15 (0.33 - 3.7)	0.81	16.1

Таблиця 5. Відношення шансів для рецесивної моделі успадкування у пацієнтів з евентраціями. Відношення шансів з 95% довірчим інтервалом

Генотип	Контрольна група n=80 (%)	Дослідна група 2 (з евентраціями) n=19 (%)	Відношення шансів	p-value	AIC
GG+GA	72 (90%)	17 (90.9%)	1.00		
AA	8 (10%)	2 (9.1%)	0.9 (0.05 - 5.71)	0.92	12.69



Діаграма 1. Розподіл частоти алельного поліморфізму (%) промотору (C-1306 →T) гену MMP-2



Діаграма 2. Розподіл частоти алельного поліморфізму (%) промотору (G303→A) гену TIMP-2

DOI 10.47451/med2024-06-01

Viktor A. Udymovych[29], *Tetiana O. Belemets*[30]

Source of polyunsaturated fatty acid and their effects on the human body [14]

Abstract: The problem of eating healthy food with high nutritional density as the basis of a complete diet has always been one of the most relevant in the world. After all, it's a scientifically proven fact that approximately 70% of human health and the normal functioning of all organs and systems depends on a balanced diet, in particular, we are also talking about the coordinated work of the immune system with the maintenance of the homeostasis of the entire body. The relevance of this literary study is determined by the high level of diseases (digestive organs, cardiovascular system) and disorders of the synthesis of proteins, enzymes and immunoglobulins caused by insufficient, excessive or irrational use of polyunsaturated fatty acids. Accordingly, the implementation of theoretical research, which can contribute to the prevention of the formation of this problem, is expedient. With the use of modern scientific publications, an analysis of widespread scientometric sources of information was performed in the work using the most current and most widespread global scientometric databases: Web of Science, Google Scholar, PubMed, like leading foreign publishing houses: Cell, Medicine, Biochemical pharmacology, Journal of Sports Science and Medicine, Journal of Lipids, etc. The study object is the metabolic processes in the human body, like the work of the cellular and humoral links of the immune system for changes caused by the daily consumption of a sufficient amount of polyunsaturated fatty acids. The purpose of the conducted theoretical research is to improve the understanding of the significance of the daily intake of polyunsaturated fatty acids with food, delineation of the most rational for consumption of food products with a high percentage of them, like, most significantly, a description of their direct impact on the work of the immune system. Materials are the latest and publicly available works of world scientists in leading and specialized periodicals, regarding issues of immunological impact, sources and biotechnological aspects of obtaining polyunsaturated fatty acids using producer microorganisms. The work presents data on medical and biological studies of the norms recommended by nutritionists for the use of essential fatty acids (4...6% of the energy ration), needs according to gender (80...150 g/day for men and 65...100 g/day for women), as well as the effectiveness of additional intake of n-3 acids in various diseases, diet therapy, corrections of lipid metabolism disorders, etc. By using information sources from world scientometric databases, the article presents a theoretical analysis of the influence of daily consumption of the amount of polyunsaturated fatty acids recommended by nutritionists, like the ratio of n-6 : n-3 families on the processes of oxidative stress, anabolism and catabolism, metabolic flexibility and strength of muscle fibers in athletes. Described the effect of eicosanoids under the condition of their synthesis in large quantities on immunological and metabolic processes in the human body is described. An impact analysis was carried out of arachidonic and docosahexaenoic acids on the neuroprotective properties of the human brain and the production of a wide range of mediators with a potentially negative impact on its activity and functioning. Particular attention is paid to alternative sources of obtaining polyunsaturated fatty acids, including n-6 and n-3, by the method of biotechnological accumulation with the help of biosynthesis using various biological agents (bacteria, mycelial fungi, microalgae). In particular, the pros and cons of such promising microorganisms (with/without genome modification) as: *Mortierella alpina, Thraustochytrium sp, Schizochytrium sp* are described. etc.

Keywords: immunity, polyunsaturated fatty acids, n-3, n-6, sources of polyunsaturated fatty acids, eicosanoids, phagocytosis.

Джерело поліненасичених жирних кислот і їх вплив на організм людини

Анотація: Проблематика вживання здорової їжі з високою нутрітивною щільністю, як основи повноцінного раціону, завжди була однією з найактуальніших у світі. Адже науково доведеним є той факт, що приблизно 70 % здоров'я людини та нормальне функціонування усіх органів та систем, залежить від збалансованого харчування, зокрема мова також йде і про злагоджену роботу імунної системи з підтриманням гомеостазу усього організму. Актуальність даного літературного дослідження визначається високим рівнем захворювань (органів травлення, серцево-судинної системи) та порушеннями синтезу білків, ферментів й імуноглобулінів викликаних недостатнім, надмірним або ж не раціональним вживанням поліненасичених жирних кислот. Відповідно здійснення теоретичного дослідження, котре може сприяти попередженню утворення даної проблематики є доцільними. Із використанням сучасних наукових публікацій, у роботі проведено аналіз розповсюджених наукометричних джерел інформації з застосуванням актуальних і найбільш поширених світових наукометричних баз даних: Web of Science, Google Scholar, PubMed, а також провідних закордонних видавництв: Cell, Medicine, Biochemical pharmacology, Journal of Sports Science and Medicine, Journal of Lipids, та ін.
Об'єктом дослідження є метаболічні процеси в організмі людини, а також робота клітинної та гуморальної ланок імунної системи на предмет змін обумовлених щоденним споживанням достатньої кількості поліненасичених жирних кислот. Метою здійсненого теоретичного дослідження є покращення розуміння важливості щоденного надходження з їжею поліненасичених жирних кислот, окреслення найбільш раціональних для вживання харчових продуктів з їх високим відсотковим вмістом, а також, що є найбільш важливим, опис їх безпосереднього впливу на роботу імунної системи. Матеріалами досліджень є новітні й публічно доступні праці світових вчених у провідних та спеціалізованих періодичних виданнях, щодо питань імунологічного впливу, джерел і біотехнологічних аспектів отримання поліненасичених жирних кислот із використанням мікроорганізмів-продуцентів. У праці приведені дані щодо медико-біологічних досліджень рекомендованих дієтологами норм для вживання ессенціальних жирних кислот (4…6% енергетичного раціону), потреб у відповідності до статі (80…150 г/добу для чоловіків і 65…100 г/добу для жінок), а також ефективність від додаткового надходження кислот родини ώ-3 при різноманітних захворюваннях, дієтотерапії, корекцій порушення метаболізму ліпідів, тощо. За використання інформаційних джерел зі світових наукометричних баз даних, у статі представлено теоретичний аналіз на тему впливу щоденного вживання рекомендованої дієтологами кількості поліненасичених жирних кислот, а також співвідношення родин n-6 : n-3 на процеси окислювального стресу, анаболізму й катаболізму, метаболічну гнучкість та силу м'язових волокон у спортсменів. Окреслено дію ейкозаноїдів за умови їх синтезу у великих кількостях на імунологічні та метаболічні процеси в організмі людини. Здійснено аналіз впливу арахідонової і докозагексаєнової кислот на нейропротекторні властивості людського мозку та виробництво широкого спектру медіаторів з потенційно негативним впливом на його активність й функціонування. Особлива увага звертається на альтернативні джерела отримання поліненасичених жирних кислот, включно з n-6 та n-3, методом біотехнологічного накопичення за допомогою біосинтезу із використанням різноманітних біологічних агентів (бактерій, міцеліальних грибів, мікроводоростей). Зокрема описано плюси та мінуси таких перспективних мікроорганізмів (з/без модифікації геному), як: *Mortierella alpina, Thraustochytrium* sp, *Schizochytrium* sp. та ін.

Ключові слова: імунітет, поліненасичені жирні кислоти, n-3, n-6, джерела поліненасичених жирних кислот, ейкозаноїди, фагоцитоз.

Вступ

Жирні кислоти, як правило, є вуглеводневими ланцюгами з карбоксильною групою на одному кінці та метильною групою на іншому кінці. За ступенем ненасиченості найбільш поширені харчові жирні кислоти поділяються на три великі класи: насичені жирні кислоти, мононенасичені жирні кислоти і поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК) в межах ацильного ланцюга (*Mariamenatu et al., 2021*; *Saini et al., 2018*). З точки зору ступеня поширення, здоров'я та харчування людини сімейства n-6 і n-3 є найважливішими природними ПНЖК. При цьому усі поживно важливі поліненасичені жирні кислоти згруповані в категорії Омега-3 і Омега-6 на основі положення першого подвійного зв'язку від кінця метилової або Омега жирної кислоти. Термін «Омега-3» або «Омега-6» стосується положення першого подвійного зв'язку в вуглецевому ланцюзі, рахуючи від метильного кінця жирної кислоти. Окрім того існує систематична номенклатура для ПНЖК, яка вказує на розташування подвійних зв'язків з посиланням на перший вуглець у карбоксилатній групі (*Mariamenatu et al., 2021*).

До комплексу поліненасичених жирних кислот відносяться ліпідні структури, які мають більше ніж один подвійний карбоновий зв'язок у своїй будові та зазвичай включають кілька подібних зв'язків. Відповідно до збільшення ланцюга подвійних карбонових зв'язків існує поділ на омега-3 (n-3) та омега-6 (n-6) поліненасичені жирні кислоти. Зокрема рід омега-3 ПНЖК включає: α-ліноленову кислоту, стеаридонову кислоту, ейкозапентаєнову кислоту, клупанодонову кислоту, тетракозапентаєнову та докозагексаєнову кислоти; до роду омега-6 ПНЖК відносяться: лінолева кислота, дигомо-γ-ліноленова та арахідонова кислоти (*Mariamenatu et al., 2021*).

Достатньо давно охарактеризовані ПНЖК отримали наукове підтвердження свого вагомого значення у щоденному харчовому раціоні людини, особливо групи омега-3, за рахунок позитивного впливу на розвиток й оптимальне функціонування імунної системи.

Справа в тому, що композицію жирних кислот клітин імунної системи можна моделювати завдяки дії дієтичних жирів, а результати в композиції – мати вплив на реактивність та функціонування імунних клітин за достатньо короткий період. ПНЖК можуть діяти на імунний статус за допомогою кількох механізмів: інгібування метаболічного процесу синтезу арахідонової кислоти, модифікація внутрішньоклітинних ліпідів, вироблення протизапальних медіаторів, а також активація ядерних рецепторів. При чому результат кожного із зазначених шляхів характеризується своїм специфічним імуномодулюючим ефектом (*Al-Khalaifah, 2020*).

Об'єктом дослідження є метаболічні процеси в організмі людини, а також робота клітинної та гуморальної ланок імунної системи на предмет змін обумовлених щоденним вживанням достатньої кількості поліненасичених жирних кислот.

Метою здійсненого теоретичного дослідження є покращення розуміння важливості щоденного надходження з їжею поліненасичених жирних кислот, окреслення найбільш раціональних для вживання харчових продуктів з їх високим відсотковим вмістом, а також, що є найбільш важливим, опис їх безпосереднього впливу на роботу імунної системи людини.

Основним завданням дослідження є опрацювання наукових джерел інформації використовуючи праці таких світових вчених як Wu, Gammone, Dyall, Mariamenatu, Zhang та ін., задля більш глибокого розуміння впливу ПНЖК на роботу клітин імунної системи.

Результати дослідження

Вплив систематичного вживання ПНЖ на організм та імунну систему людини

Попри класичні думки про ліпідні структури у якості джерела енергії, омега-3 та омега-6 ПНЖК також відіграють доволі суттєві функції у ряді метаболічних процесів в організмі. У відповідності до опублікованих даних медико-біологічних досліджень, надходження жирних кислот з їжею повинно мати систематичний характер (4…6% енергетичного раціону забезпечується за рахунок вживання ессенціальних жирних кислот), але з урахуванням відповідних норм встановлених дієтологами: 80…150 г/добу для чоловіків та 65…100 г/добу для жінок. Окремо слід зауважити, що не менше 30% від загальної кількості спожитого жиру повинно припадати саме на натуральні жири рослинного походження (олії) (*Belemets et al., 2016*).

Аналіз повсякденного раціону середньостатистичної людини виявив значні відхилення від норм збалансованого харчування, які призводять до порушення синтезу гормонів, ферментів, білків та імуноглобулінів. Як наслідок це запускає ряд запальних процесів та захворювань (порушення метаболізму, ожиріння, захворювання серцево-судинної системи й органів травлення). Зокрема більш ранні дослідження на тваринах та людях демонструють, що тип і кількість жирної кислоти напряму пов'язані із впливом на імунну відповідь (*Gandra, et al., 2016*).

Нині споживання ПНЖК родин омега-6 та омега-3 знаходиться у співвідношеннях 10:1…30:1, що призводить до порушення ліпідного обміну. Важливим тут є те, що арахідонова кислота котра вступає у реакцію з вітамінами групи В, синтезується саме з ліноленової кислоти. При цьому надлишок синтезу арахідонової кислоти (більше 2 г/добу) є тригером низки смертельно небезпечних процесів. Саме тому завжди необхідно блокувати джерело синтезу арахідонової кислоти за рахунок споживання більшої кількості ліноленової (n-3). Їх науково обґрунтоване співвідношення повинно складати 10:1 – для здорового верства населення та 3:1…5:1 – при наявних порушеннях ліпідного обміну (*Belemets et al., 2021a*).

До прикладу, за даними наведеними у статті (*Gammone et al., 2019*) відзначено вплив омега-3 на запальні процеси при захворюваннях серцево-судинної системи, оскільки вони приймають участь у регулюванні артеріального тиску, покращують процес згортання крові, а також застосовуються у якості профілактики дисфункцій обумовлених інтенсивними навантаженнями.

Справа у тому, що під час суттєвих фізичних вправ чи тренувань у клітинах організму людини трапляється окислювальний стрес, який напряму є пов'язаним із порушенням прооксидантно-антиоксидантного балансу. За умови значних фізичних навантажень (силових вправ) може настати окисне пошкодження клітинних компонентів. У цьому випадку спостерігається процес утворення вільних радикалів скелетними м'язами (під час скорочень) з подальшим окисленням інших молекул організму для власної стабілізації.

Подібний окислювальний стрес негативно відображається на функціонуванні клітин, що у свою чергу призводить до розвитку гострої втоми як серед професійних спортсменів, так і серед початківців.

Окрім того при фізичних вправах вірогідним також є негативний вплив на імунну систему в цілому у вигляді небажаного імуномодулюючого ефекту, що може відображатися у збільшенні можливості потрапляння різних інфекційних агентів. Як наслідок: посилення вироблення протизапальних цитокінів, а також зниження їх функціонування (*Gammone et al., 2019*, *Black et al., 2018*).

Окислювальний стрес, як результат утворення киснево-центрованих радикалів, має властивість пригнічувати активність нейтрофілів, а також зменшувати проліферацію імунокомпетентних клітин (Т- і В-лімфоцитів), що негативно відображається на роботі кожної із ланок імунної системи (*Gammone et al., 2019*). Тому при проведенні регулярних тренувань, для зменшення негативного впливу на функціонування клітин і організму у цілому, рекомендується вживати додаткові джерела омега-3, оскільки наявність ейкозопентаєнової кислоти може покращувати метаболічну гнучкість м'язів та збільшувати м'язову силу у спортсменів (*Gammone et al., 2019*).

Зазначені вище результати досліджень добре узгоджуються з представленими у наступних працях (*Lembke et al., 2014*; *Corder et al., 2016*; *Tinsley et al., 2017*), згідно з якими ПНЖК родини омега-3 мають властивості покращувати м'язовий анаболізм й катаболізм як серед хворих, так і серед здорових верств населення. Як наслідок – збільшення м'язової маси та її сили у людей різного віку/статті.

Даний вплив ПНЖК на роботу імунної системи можна пояснити наявністю фосфоліпаз, що активно приймають участь в окисленні та підвищують проникність клітинних мембран. Зокрема такі довголанцюгові кислоти як арахідонова та ейкозопентаєнова – від'єднуються від мембранних фосфоліпідів й піддаються окисленню до відповідних ліпідних медіаторів за допомогою ферментів оксигенази, циклооксигенази та цитохрому Р450 (*Mariamenatu et al., 2021*; *Saini et al., 2018*).

Загально відомими нині є властивості ПНЖК n-3 посилювати фагоцитарну активність у дослідах на лабораторних мишах. Відтак у праці (*Gutiérrez et al., 2019*) зазначається, що додавання докозагексаєнової кислоти *in vitro* до відокремлених перитонеальних нейтрофілів обумовлює підвищення їх фагоцитарної й фунгіцидної здатностей на 35%. Отримані результати мають свою актуальність і для кіз, у яких поліморфоядерні лейкоцити посилювали свою здатність до поглинання *E. Coli* за умови інкубації разом з ейкозапентаєновою і докозагексаєновою кислотами.

Перелічені ефекти властиві і для людей, що підтверджується рядом експериментів у яких 10-ом учасникам упродовж 60 днів додавали до раціону риб'ячий жир з 26% докозагексаєнової кислоти та 54% ейкозапентаєнової кислоти, що призводило до збільшення фагоцитарної активності нейтрофілів на 62%.

На противагу опубліковані результати іншого проведеного дослідження (*Lim et al., 2017*) у якому добровольці споживали кукурудзяну олію або ейкозапентаєнову кислоту, які не продемонстрували значного впливу на фагоцитарну здатність агранулоцитів.

Відзначається, що наявність у раціоні ейкозопентаєнової та докозогексаєнової кислот призводить до збільшення їх часток у нейтрофілах та моноцитах. Це у свою чергу і

формує протизапальний ефект від вживання омега-3 з подальшим зменшенням продукції інтерлейкінів IL-1 та IL-6, – позитивно відображається на хворих з ревматоїдним артритом або сильним болем у суглобах, який може виникати при повторних системних навантаженнях (*Gammone et al., 2019*).

Добре відомими роботами на дану тематику є (*Gomez-Larrauri et al., 2020*; *Dyall, 2017*), де продемонстровано що різноманітні ліпіди мають біологічно активні властивості, які виникають з гліцеролліпідів, – лізофосфатидна кислота та фактор активації тромбоцитів (*Dyall et al., 2022*). У свою чергу це відобразилося у формуванні терміну оксиліпін, котрий показує оксигеновмісні сполуки, які утворюються із жирних кислот, організованих моно- або діоксигеназною оксигенацією для подальшого охоплення біологічно активних ліпідних медіаторів. Утворення оксиліпінів відбувається переважно через ферментативні шляхи як циклооксигенази (гемвмісні ферменти з оксигеназною і пероксидазною активностями з подальшою оксигенацією жирних кислот з утворенням простагландинів) та ліпоксигенази (діоксигенази, котрі каталізують утворення гідропероксидів жирних кислот та їх метаболітів) (*Dyall et al., 2022*; *Kirkby N.S. et al., 2016*).

Варто також згадати про імуномодулюючу дію таких ейкозаноїдів (оксигеновані похідні C_{20}ПНЖК), як арахідонова та ейкозопентаєнова кислоти з прозапальними або протизапальними властивостями, разом з аутакоїдами, котрі походять з C_{22}ПНЖК (переважно докозогексаєнова кислота) й мають нейропротектини та здатність зменшувати запальні процеси в організмі людини (*Saini et al., 2018*).

Відтак ейкозаноїди, під час синтезу у великих кількостях, впливають на наступні імунологічні та метаболічні процеси: на активацію лейкоцитів, агрегацію тромбоцитів, регуляцію шлункової секреції, кровотечу, бронхоконстрикцію, бронходилатацію та сигналізацію болю в нервових клітинах, мають властивості до регуляції запалення та роботи імунітету, кровоносних судин, синаптичної пластичності, росту клітин, сну, відчуття болю, тощо (*Saini et al., 2018*).

Наявність кислот дає змогу на належному рівні функціонувати імунній системі, яка є життєво важливою для захисту від патогенних мікроорганізмів, таких як бактерії та віруси. Окрім того імунна система відіграє центральну роль у забезпеченні толерантності до власних тканин, нешкідливих мікроорганізмів, які складають нормальну мікрофлору людини та потенційних алергенів у продуктах харчування. При цьому імунна відповідь включає значну проліферацію клітин, а самі ж поліненасичені жирні кислоти – відіграють ключову роль у її підтримці та регуляції. Зокрема ПНЖК є важливими джерелами енергії для клітин імунної системи, а також життєво важливими структурними й функціональними компонентами мембран імунних клітин (*Calder, 2018*).

Разом з тим загальновідомими є дані щодо ефективності додаткового застосування кислот групи n-3 при лікування різного класу захворювань; за умови збільшення частки споживання даних жирних кислот спостерігається підвищення ефективності дієтотерапії, корекція порушень метаболізму ліпідів у хворих на цукровий діабет II типу, зниження раніше підвищеної активності фосфоліпаз А1 і А2, котрі є відповідальними за дегенерацію фосфоліпідів у процесі клітинного метаболізму (*Belemets et al., 2021b*).

Варто також зазначити, що арахідонова та докозагексаєнова кислоти є основними представниками ПНЖК у мозку людини, оскільки володіють нейропротекторними

властивостями (*Dyall, 2015*). Ці довголанцюгові кислоти можуть надходити за рахунок харчування збагаченого ПНЖК або ж за рахунок коротколанцюгових попередників з подальшою обмеженою трансформацією у печінці. Водночас дисбаланс раціону у споживанні між n-3 і n-6 не тільки ставить під загрозу вміст довголанцюгових ПНЖК у мозку, але й також може впливати на виробництво широкого спектру медіаторів з потенційно негативним впливом на його активність та функціонування (*Dyall, 2017*).

Попри усі наведені вище переваги, надмірне споживання у раціоні омега-3 може мати й негативний вплив пов'язаний зі змінами функціонування тромбоцитів. Надмірна кількість ейкозопентаєнової і докозогексаєнової кислот призводить до утворення та накопичення тромбоксану A_3, який не так активно впливає на активацію тромбоцитів ніж тромбоксан A_2. Відповідно, збій активації тромбоцитів через різні ейкозаноїди може призводити до антитромботичного ефекту з подальшим погіршенням процесу загоєння ран, особливо після травмувань або операційних втручання. При цьому додатковим негативним наслідком насиченого споживання омега-3 є перекисне окислення ліпідів з утворенням вільних радикалів, що впливає на стабільність клітинних мембран (*Gammone et al., 2019*).

Отже, хоча n-3 і n-6 сприймаються як сприятливі для здоров'я біологічно активні речовини, за їх надмірного щоденного споживання спостерігається антагоністичний (протилежний) вплив на метаболічні функції в організмі людини, що згодом може призвести до появи багатьох патологічних процесів, якщо баланс «антагоністичних метаболічних функцій» не зміниться (*Saini et.al, 2018*). При цьому омега-3 і омега-6 відповідають за протилежні метаболічні функції, відіграючи значну роль у регулюванні гомеостазу організму, прозапальних і протизапальних процесів (за допомогою локально діючих біоактивних сигнальних ліпідів), агрегації та антиагрегації тромбоцитів. Як правило, n-6 посилює запалення, агрегацію тромбоцитів та вазоконстрикцію, тоді як n-3 пригнічує запалення, агрегацію тромбоцитів та посилює вазодилатацію (*Kwon et al., 2020*).

Рослинні, тваринні та мікробіологічні джерела ПНЖК родин n-3 та n-6

α-ліноленова та лінолева кислоти є двома базовими ПНЖК, які повинні надходити зі щоденного раціону харчування, оскільки людський організм не здатен до їх самостійного синтезу. Джерелами омега-3, зазвичай, виступають різноманітні зелені овочі, насіння олійних культур (на кшталт льону), океанська риба (сардини, лосось або ж тунець) (*Simopoulos, 2016*).

α-ліноленова кислота входить до складу хлоропластів культивованих зелених листових овочів (цвітна капуста, брокколі, салат), насіння та горіхів (волоський горіх), букових, сої, ріпаку, червоної й чорної смородини, а також різноманітних фруктів на кшталт авокадо, малини та полуниці. Деяка її кількість наявна у диких їстівних рослинах як *Verbena officinalis* L., *Chenopodium album* L., *Picris echioides* L. та *Sonchus oleraceus* L.

Лінолева ж кислота у великій кількості міститься в насінні таких рослин як: виноград, ріпак, мак, коноплі та мигдаль; у горіхах: бразильському, волоському, кедровому (*Mariamenatu, 2021*).

Омега-6 у свою чергу входить до складу різноманітних рослинних олій (соняшникова, соєва, кукурудзяна), які набули широкого використання під час

приготуванні їжі (*Bentsen, 2017*; *Sokoła-Wysoczańska et al., 2018*). Арахідонова кислота знаходиться переважно у фосфоліпідах зернових продуктів тварин і птиці, таких як: м'ясо, сало, індичий жир, вершкове масло та яєчні ліпіди. Ейкозопентаєнова та докозагексаєнова кислоти у достатній кількості знаходяться у жирній морській рибі й риб'ячому жирі з лосося, скумбрії, сардинах, анчоусах, форелі, а також в оліях мікроводоростей (*Sokoła-Wysoczańska et al., 2018*; *Harwood, 2019*; *Ruiz-Lopez et al., 2020*; *Simopoulos, 2020*).

Водночас потрібно розуміти, що із наземних рослин, овочів, тварин, омега-3 і омега-6 неможливо отримати у достатній кількості (з біологічної точки зору), а такі морські джерела кислот як риба, риб'ячий жир і олія мікроводоростей є не однаково доступними за ціновою політикою для переважної більшості населення. Зокрема потрібно додати, що отримання ПНЖК з морської риби, як основного джерела, збільшує антропогенне навантаження на біоценоз океанів, морів та негативно відображається на екологічному стані планеті загалом (*Mariamenatu, 2021*).

Варто також зазначити, що сучасне сільське господарство приділяє увагу виключно питанню виробництва, тобто продовольчій безпеці, а не функціональній продовольчій безпеці. Як наслідок спостерігаємо збагачення омега-6 та суттєве зниження кількості омега-3 у більшості продуктів щоденного вжитку. Відтак зміна системи культивування рослин у сільському господарстві задля отримання кормів для диких тварин – демонструє використання зерна злаків позбавленого омега-3 ПНЖК (корм для домашньої худоби), що у свою чергу впливає на зміни профілю ПНЖК вироблених з них харчових продуктів (м'ясо тварин, яйця та навіть риба) (*Simopoulos, 2020*).

Альтернативою до отримання і накопичення поліненасичених жирних кислот виступає їх біотехнологічна продукція за допомогою біосинтезу різноманітними біологічними агентами, як мікроводорості, гриби та бактерії.

Штами мікроводоростей *Schizochytrium* sp. та *Thraustochytrium* sp. BM2 були предметом значної кількості досліджень завдяки високій продукції поліненасичених жирних кислот, особливо докозогексаєнової кислоти за умови інтенсивної аерації під час біосинтезу (*Ren et al., 2017*; *Chen et al., 2020*).

Відповідно до інформації, що наведена у (*Md Norashikin et al., 2018*) іншим можливим продуцентом ПНЖК є *Chlorella vulgaris*. Авторами статті описується зміна культури *Chlorella vulgaris* за рахунок її модифікації трансгенними лініями Ch-TL1 та Ch-TL2. Окрім модифікації геному було проведено відбір і корекцію складу поживного середовища для біологічного агента з високим й низьким вмістом нітратів, відповідно для визначення росту, виробництва біомаси, загального вмісту олії, а також жирнокислотного профілю. Це дало змогу збільшити експресію генів з подальшим накопичення пальмітинової, стеаринової, олеїнової й лінолевої кислот.

На сьогоднішній день одним з перспективних продуцентів для отримання поліненасичених жирних кислот є *Mortierella alpina*. Особливістю цих грибів є утворення насичених жирних кислот з подальшою модифікацією і подовженням подвійного ланцюга. Водночас недоліком використання *Mortierella alpina* є створення особливо «ніжних» умов культивування, що відображається у низькій швидкості перемішування й подачі аераційного повітря через особливість морфології культури. При цьому

застосування періодичного режиму культивування, внесення підживлюючого розчину поживного середовища упродовж 6 діб за оптимального режиму подачі аераційного кисню, дає змогу отримати на виході 18 г/л ліпідів, серед яких арахідонової кислоти міститься приблизно 42% (*Wu et al., 2017*).

Іншим перспективним продуцентом *γ*-ліноленової кислоти нині є *Mucor circinelloides* – типовий олійний нитчастий гриб, який широко використовується упродовж останніх десятиліть. Одним з чинників синтезу поліненасичених жирних кислот, за використання даної культури, є активність дельта-12 або ж дельта-6 десатураз; надекспресія дельта-6-десатурази відіграє важливу роль у синтезі *γ*-ліноленової кислоти та решти похідних омега-6 (*Zhang et al., 2017*).

Обговорення

На сьогоднішній день споживання ПНЖК класу n-6 у раціоні середньостатистичної людини – значно перевищує кількість n-3. При цьому арахідонова кислота дає початок сімейству ейкозаноїдів (медіаторів запалення) завдяки яким регулює виробництво цитокінів, діяльність запальних клітин та впливає на гомеостаз. Ось чому важливо корегувати кількість утвореної арахідонової кислоти нівелюючи її вживанням більшої кількості ліноленової кислоти (n-3) та дотримуючись рекомендованих дієтологами норм співвідношень n-6 : n-3. Окремо також слід зазначити здатність n-3 посилювати фагоцитарну активність

Хоча наразі джерелами поліненасичених жирних кислот виступає велика кількість рослин, особливо відомими та поширеними залишаються риба, риб'ячий жир та рослинні олії, зокрема лляна олія, яка відрізняється найбільшим вмістом n-3 з-поміж інших. Враховуючи достатньо високу вартість зазначених продуктів харчування, досить перспективним є отримання поліненасичених жирних кислот завдяки використанню мікроорганізмів та біотехнологічного накопичення шляхом застосування процесів біосинтезу. Наразі з цією метою вже використовують наступні продуценти: *Chlorella vulgaris, Mortierella alpina, Schizochytrium* sp. та *Thraustochytrium* sp.

Загалом компоненти як природнього так і набутого імунітету, разом із продукцією ключових запальних цитокінів, можу піддаватись впливу ПНЖК класу n-3. Незважаючи на те що деякі ефекти спровоковані n-3 можуть бути викликані модуляцією типів й кількістю утворених ейкозаноїдів, вірогідно що дані жирні кислоти можуть викликати свої ефекти за допомоги незалежних від ейкозаноїдів механізмів. Такі властивості обумовлені n-3 можуть бути використані у якості терапії хронічних і гострих запалень, а також розладів, що включають неправильно активовану імунну відповідь.

Важливо відзначити, що отримані результати (*in vitro*) позитивно впливу на роботу клітин імунітету, імунокомпетентних клітин зокрема, мають місце бути на модельних лабораторних мишах та характеризуються деякою неоднозначністю отриманих наукових перспектив по відношенню до їх імуномодулюючої дії в експериментах на людях. Адже з клінічної точки зору отримані результати є невизначеними, оскільки велика кількість захворювань у людей залежить від генетичних факторів навколишнього середовища. Окрім того наявні експериментальні методи аналізу впливу ПНЖК на імунну відповідь є недостатньо чіткими й представляють різні результати, а самі дози *in vitro* та *in vivo* можуть

не відповідати фізіологічним концентраціям у біологічних рідинах. Тому здійснення подальших наукових досліджень слід направити саме у русло більш глибокого та детального вивчення процесів активації імунних клітин вродженого і адаптативного імунітету.

Висновки

Згідно проведених теоретичних досліджень, за умови щоденного вживання рекомендованої дієтологами норми, ПНЖК здатні модулювати імунні відповіді, тим самим надаючи сприятливий вплив на перебіг різноманітних захворювань й запальних процесів. Зокрема ПНЖК притаманна властивість підтримувати клітинні функції та структури в організмі людини, покращувати імунні функції, регулювати метаболізм ліпідів, а також експресію генів. Нині науці відомими є кілька механізмів імуномодулюючих функцій поліненасичених жирних кислот, проте саме синтез ліпідного медіатора має велике значення з точки зору впливу на протікання запалення.

Не менш важливим є також споживання ПНЖК класів n-6 та n-3 у раціональному співвідношенні задля максимізації позитивного впливу на роботу імунітету людини. При чому n-3 жирні кислоти є протизапальними, тоді як n-6 – прозапальними. Тому загалом n-6 є менш значущими й в основному використовуються у якості контролю для ПНЖК n-3 у наукових дослідженнях.

Відтак споживання жирних кислот n-3 – зменшує кількість арахідонової кислоти у клітинних мембранах і, таким чином, доступу для виробництва ейкозаноїдів. Тобто n-3 ПНЖК діють як антагоністи по відношенню до арахідонової кислоти. Що ж до імуномодулюючих властивостей n-3, то найбільш важливим механізмом є виробництво біоактивних похідних жиру або оксиліпінів.

Одним із найкращих джерел n-3 й досі залишаються риба, риб'ячий жир та рослинні олії. Проте пропозиція щоденного вживання риби людиною не є стійкою, тому наразі все більшої популярності отримують альтернативні джерела – олії з насіння, водоростеві олії, тощо.

Отже, поліненасичені жирні кислоти обох типів регулюють запалення, впливають на роботу імунної системи, кровоносних судин, тромбоцитів, клітинних функцій, експресії генів, а також синаптичної пластичності й клітинного росту. Поміж іншим n-3 і n-6 відіграють важливу роль у складі всіх клітинних мембран, де приймають участь у гомеостазі для правильного функціонування мембранних білків.

Конфлікти інтересів

Автори заявили, що конфлікту інтересів немає.

Список джерел інформації:

Al-Khalaifah, H. (2020). Modulatory effect of dietary polyunsaturated fatty acids on immunity, represented by phagocytic activity. *Frontiers in Veterinary Science*, *7*, 569939. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.569939

Balić, A. et al. (2020). Omega-3 Versus Omega-6 Polyunsaturated Fatty Acids in the Prevention and Treatment of Inflammatory Skin Diseases *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3):741. https://doi.org/10.3390/ijms21030741

Belemets, T. et al. (2016). Optimization of composition of blend of natural vegetable oils for the production of milk-containing products. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, *5* (11), 4-9. https://doi.org/10.21303/2504-5695.2016.00192

Belemets, T. et al. (2021a). Evaluation of oxidity resistance of milk-containing products based on blending of vegetable oils. *Technology Audit and Production Reserves*, *1*(3), 57. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225530

Belemets, T. et al. (2021b). Impact of vegetable oils on the fatty acid composition of milk-containing product. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, *34*, 150-160. UDC 637.1.043.07:543.54

Bentsen, H. (2017). Dietary polyunsaturated fatty acids, brain function and mental health. *Microbial Ecology in Health and Disease*, *28*. https://doi.org/10.1080/16512235.2017.1281916

Black, K. E. et al. (2018). Adding omega-3 fatty acids to a protein-based supplement during pre-season training results in reduced muscle soreness and the better maintenance of explosive power in professional Rugby Union players. *European Journal of Sport Science*, 10, 1357-1367. https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1491626

Calder, P. C. (2018). Metabolism of Polyunsaturated Fatty Acids by Cells of the Immune System *Polyunsaturated Fatty Acid Metabolism*, *8*, 135-155. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811230-4.00008-9

Chen, C.-Y. et al. (2020). Enhanced production of microalgal lipids using a heterotrophic marine microalga Thraustochytrium sp. BM2. *Biochemical Engineering Journal*, *154*. https://doi.org/10.1016/j.bej.2019.107429

Corder, K. et al. (2016). Effects of Short-Term Docosahexaenoic Acid Supplementation on Markers of Inflammation after Eccentric Strength Exercise in Women. *Journal of Sports Science and Medicine, 15*(1), 176-183. PMID 26957941

Dyall S. C. (2015). Long-chain omega-3 fatty acids and the brain: a review of the independent and shared effects of EPA, DPA and DHA *Frontiers in Aging Neuroscience*, *7*, 52. https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00052

Dyall, S. C. (2017). Interplay between n-3 and n-6 long-chain polyunsaturated fatty acids and the endocannabinoid system in brain protection and repair. *Lipids*, *52*(11), 885-900. https://doi.org/10.1007/s11745-017-4292-8

Dyall, S. C. et al. (2022). Polyunsaturated fatty acids and fatty acid-derived lipid mediators: Recent advances in the understanding of their biosynthesis, structures, and functions. *Progress in Lipid Research*, *86*, 101165. https://doi.org/10.1016/j.plipres.2022.101165

Gammone, M. A. et al. (2019). Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids: Benefits and Endpoints in Sport *Nutrients, 11*(1), 46. https://doi.org/10.3390/nu11010046

Gandra, J. R. et al. (2016). Effects of whole flaxseed, raw soybeans, and calcium salts of fatty acids on measures of cellular immune function of transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *99*(6), 4590-4606. https://doi.org/10.3168/jds.2015-9974

Gomez-Larrauri, A. et al. (2020). Role of bioactive sphingolipids in physiology and pathology. *Essays Biochem*, *64*(3), 579-589. https://doi.org/10.1042/EBC20190091

Gutiérrez, S. et al. (2019). Effects of omega-3 fatty acids on immune cells. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(20), 5028. https://doi.org/10.3390/ijms20205028

Harwood, J. L. (2019). Algae: Critical Sources of Very Long-Chain Polyunsaturated Fatty Acids *Biomolecules, 9*(11), 708, https://doi.org/10.3390/biom9110708

Kirkby, N. S. et al. (2016). Systematic study of constitutive cyclooxygenase-2 expression: Role of NF-κB and NFAT transcriptional pathways *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*(2), 434-439. https://doi.org/10.1073/pnas.1517642113

Kwon, S. Y. et al. (2020). Oxidised metabolites of the omega-6 fatty acid linoleic acid activate dFOXO. *Life Science Alliance*, *3*(2). https://doi.org/10.26508/lsa.201900356

Ledesma-Amaro, R. et al. (2018). Pathway Grafting for Polyunsaturated Fatty Acids Production in Ashbya gossypii through Golden Gate Rapid Assembly. *American Chemical Society Publications*, *7*(10), 2340-2347. https://doi.org/10.1021/acssynbio.8b00287

Lembke, P. et al. (2014). Influence of Omega-3 (N3) Index on Performance and Wellbeing in Young Adults after Heavy Eccentric Exercise. *Journal of Sports Science and Medicine, 15*(1), 176-183. PMID: 24570619

Lim, J. J. et al. (2017). Diversity and versatility of phagocytosis: roles in innate immunity, tissue remodeling, and homeostasis. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, *7*, 191. https://doi.org/10.3389/fcimb.2017.00191

Mariamenatu, A. H., & Abdu, E. M. (2021). Overconsumption of Omega-6 Polyunsaturated Fatty Acids (PUFAs) versus Deficiency of Omega-3 PUFAs in Modern-Day Diets: The Disturbing Factor for Their "Balanced Antagonistic Metabolic Functions" in the Human Body. *Journal of Lipids*. https://doi.org/10.1155/2021/8848161

Md Norashikin, N. et al. (2018). Metabolic engineering of fatty acid biosynthesis in Chlorella vulgaris using an endogenous omega-3 fatty acid desaturase gene with its promoter. *Algal Research*, *31*, 262-275. https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.02.020

Ren, L. J. et al. (2017). Enhancement of docosahexaenoic acid synthesis by manipulation of antioxidant capacity and prevention of oxidative damage in Schizochytrium sp. *Bioresource Technology, 223*, 141-148. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.040

Ruiz-Lopez, N. et al. (2015). Modifying the lipid content and composition of plant seeds: engineering the production of LC-PUFA *Applied Microbiology and Biotechnology, 99*(1), 143-154. https://doi.org/10.1007/s00253-014-6217-2

Saini, R. K., & Keum, Y.-S. (2018). Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids: dietary sources, metabolism, and significance – a review. *Life Sciences*, *203*, 255-267. https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.04.049

Simopoulos, A. P. (2016). An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity. *Nutrients, 8*(3), 128. https://doi.org/10.3390/nu8030128

Simopoulos, A. P. (2020). Omega-6 and omega-3 fatty acids: Endocannabinoids, genetics and obesity *Lipids and Health,* 27. https://doi.org/10.1051/ocl/2019046

Sokoła-Wysoczańska, E. et al. (2018). Polyunsaturated fatty acids and their potential therapeutic role in cardiovascular system disorders – a review. *Nutrients*, *10*, 1561. https://doi.org/10.3390/nu10101561

Tinsley, G. M. et al. (2017). Effects of Fish Oil Supplementation on Postresistance Exercise Muscle Soreness. *Journal of Dietary Supplements, 14*(1), 89-100. https://doi.org/10.1080/19390211.2016.1205701

Wu, W.-J. et al. (2017). An efficient multi-stage fermentation strategy for the production of microbial oil rich in arachidonic acid in Mortierella alpina. *Bioresources and Bioprocessing*, *4*, 8. https://doi.org/10.1186/s40643-017-0138-8

Zhang, Y. et al. (2017). Improved γ-linolenic acid production in Mucor circinelloides by homologous overexpressing of delta-12 and delta-6 desaturases. *Microbial Cell Factories*, *16*, 113. https://doi.org/10.1186/s12934-017-0723-8

DOI 10.47451/soc2024-05-01

Denys V. Dereviankо[31]

Information technology as a factor of developing the digital economy [15]

Abstract: Theoretical approaches to the definition of the digital economy, the main directions of the development of digital transformation processes in economic relations are considered. The study object is the process and consequences of the influence of Information Technologies on developing digitalization of the sphere of economic relations. The study subject is information technologies. The purpose is to study the peculiarities of developing digital society, digital information technologies and the impact of such information development on changes in the economy. The collection of data related to the development of information and communication technologies was analyzed and it was shown that the transition to the digital economy significantly changed the conditions of existence of business structures. Thus, the article defines that each field of human activity develops according to certain laws, under these conditions, each branch affects the other to a greater or lesser extent. The study shows that the rapid progress in science has made it possible to make a leap in many fields of knowledge, thanks to information technologies, including the economy, thus, serious changes have affected many areas of business. It is shown that the implementation of information technologies is related to the solution of a set of tasks that ensure the development and effective use of intellectual resources of modern enterprises. The basic elements of the scientific and innovative complex are revealed, the key element of which is the organization of innovative infrastructure, which includes the management system of enterprises based on the application of innovative information technologies.

Keywords: digital economy, Industry 4.0, information technologies, Internet of Things, robotics, cloud technologies.

Денис Вячеславович Дерев'янко

Інформаційні технології як фактор розвитку цифрової економіки

Анотація: Розглядаються теоретичні підходи до визначення цифрової економіки, основні напрямки розвитку процесів цифрової трансформації в економічних відносинах. Об'єкт дослідження – процес та наслідки впливу інформаційних технологій на розвиток цифровізації сфери економічних відносин. Предмет дослідження – інформаційні технології. Мета – дослідження особливостей розвитку цифрового суспільства, цифрових інформаційних технологій та особливостей впливу такого інформаційного розвитку на зміни в економіці. Проаналізовано сукупність даних, пов'язаних з розвитком інформаційно-комунікаційних технологій та показано, що перехід до цифрової економіки суттєво змінив умови існування бізнес-структур. Так, в статті визначено, що кожна сфера діяльності людини розвивається за певними законами, за цих умов кожна галузь впливає в більшій чи меншій мірі на іншу. В дослідженні показано, що стрімкий прогрес у науці дозволив зробити стрибок у багатьох галузях знань, завдяки інформаційним технологіям, у тому числі й економіці, таким чином, серйозні зміни торкнулися багатьох напрямів бізнесу. Показано, що реалізація інформаційних технологій пов'язана з вирішенням сукупності завдань, що забезпечують розвиток та ефективне використання інтелектуальних ресурсів сучасних підприємств. Розкрито базові елементи науково-інноваційного комплексу, ключовим елементом якого є організація інноваційної інфраструктури, що включає систему управління підприємствами на основі застосування інноваційних інформаційних технологій.

Ключові слова: цифрова економіка, індустрія 4.0, інформаційні технології, інтернет речей, робототехніка, хмарні технології.

Вступ

Становлення інформаційного суспільства розглядається як соціотехнічна проблема, що вимагає для свого вирішення послідовного і пріоритетного розвитку технічних інновацій, впровадження їх у суспільну практику, а також активного освоєння всього комплексу соціально-політичних можливостей і економічних переваг, що випливає з їх технічного потенціалу. Насиченість національної території комунікаційними елементами та вузлами інформаційно-комунікаційної інфраструктури, рівень доступності та частота використання населенням і різними організаціями основних елементів інформаційно-комунікаційних технологій – усе це свідчить про перехід суспільства до інформаційного стану.

Відповідно, виникнення і розвиток інформаційного суспільства розуміється як прямий і об'єктивний соціальний наслідок науково-технічного прогресу і оцінюється як крок у розвитку сучасної цивілізації.

Економічні основи інформаційного суспільства формуються завдяки масштабному здешевленню розповсюдження інформації, що стало можливим завдяки розвитку принципово нових видів електронних комунікацій. Проте, ускладнення соціотехнічних форм руху інформації та знань зумовлює непередбачуваність соціальних, політичних і соціокультурних проблем і наслідків, пов'язаних одночасно як із масштабами технологічних ризиків, так і зі збільшенням швидкості та свободи доступу до інформаційних ресурсів. При вирішенні завдань комерційного, соціального, дипломатичного, військового та іншого значення. Визнаючи це, ми не можемо не визнати, що інформація та комунікації стають все більш важливою складовою не тільки в контексті технологічного, але й соціального, культурного та економічного розвитку сучасної цивілізації.

Водночас зростає переконання, що ідейно-філософська інтерпретація процесів інформатизації, розроблена в рамках технологічного детермінізму, значно звужує та формалізує межі уявлень про реальну природу, і соціокультурний зміст процесів трансформації індустріального суспільства в постіндустріальний тип розвитку.

2015 року під час саміту G20 вперше на порядок денний було внесено питання про цифрову економіку. Після того, 2016 року було запропоновано «Ініціатива розвитку і співпраці «Групи двадцяти» в області цифрової економіки», а вже у 2017 році було проведено першу нараду «цифрових міністрів». В результаті цієї наради були прийняті «Декларації міністрів по цифровій економіці «Групи двадцяти» та рішення підключити всіх громадян до цифрових технологій до 2025 р.

Цифровізація суспільства передбачає формування взаємовідносин влади, бізнесу та суспільства з використанням новітніх інформаційних технологій, висвітлює соціально-економічні події на інтернет-платформі, мобільних та сенсорних мережах. Сучасний етап розвитку соціально-економічних систем характеризується стрімкими структурними та

якісними трансформаціями під впливом стрімкого поширення інноваційних технологій, у тому числі цифрових. Процеси цифровізації економіки та соціальних відносин сприяють поглибленню взаємодії між усіма суб'єктами ринкового середовища, що виходять за межі національних кордонів, створюють передумови для зростання ВВП, підвищення продуктивності праці, впровадження та поширення інновацій у всі сфери життя. Водночас стрімкі технологічні зміни, що мають мультиплікативний ефект, вимагають формування якісно нових, адаптивних підходів і моделей управління економічними процесами на всіх рівнях. Без урахування впливу основних трендів цифровізації суспільства на розвиток економічних і соціальних процесів формування стратегій економічного розвитку держави, регіонів та окремих галузей не має практичного значення.

Так, розвиток відносин у соціальному середовищі залежить від рівня економічного розвитку. Це стосується будь-якого рівня: глобального, європейського, національного, регіонального, територіального тощо.

Цифрова економіка базується на впровадженні та широкому застосуванні технологій зберігання та обробки великих обсягів інформації (Big data, хмарні обчислення), Інтернету речей, наскрізних інформаційних технологій, технологій кібербезпеки, роботизація та комплексна автоматизація більшості процесів і виробництв та інші напрями розвитку інноваційних технологій, що змінюють роль людини в економічній системі.

Об'єкт дослідження – процес та наслідки впливу інформаційних технологій на розвиток цифровізації сфери економічних відносин.

Предмет дослідження – інформаційні технології.

Мета – дослідження особливостей розвитку цифрового суспільства, цифрових інформаційних технологій та особливостей впливу такого інформаційного розвитку на зміни в економіці.

Інформаційні технології проникають у всі напрямки діяльності людини, що зумовлює появу нового класу завдань в економіці, який пов'язаний безпосередньо з ними. Особливість цієї категорії полягає в тому, що відокремити сам продукт від технології донедавна не уявлялося можливим. Нині багато компаній стали пропонувати нові рішення, які дозволяють уникнути звичного представлення технологій, як фізичного продукту. Ці відмінності суттєво розширюють можливості, але водночас ускладнюють завдання, які вирішує економічна наука.

Методологія дослідження базувалася на загальнонаукових методах дослідження. Метод системного аналізу дав можливість наблизитися до предмета дослідження всебічно та різнобічно, а також встановити взаємозв'язок і взаємозалежність поняття інформаційних технологій, поняття цифрової економіки. Метод порівняльного аналізу виявився корисним при характеристиці основних характеристик розвитку економіки. Метод прогнозування дозволив оцінити перспективи розвитку потенціалу економіки в інформаційному суспільстві.

Науковим дослідженням теми цифровізації економіки займались A. Lauscher (*2019*), N. Chouhan (*2018*), А. Волошин (*2019*), Т. Олешко і Н. Касьянова (*2022*), Л. Кіт (*2014*), Л.О. Матвейчук (*2018*).

Виклад матеріалу

Процеси розвитку інформаційної діяльності втягують сучасну людину в принципово нове коло культурних взаємодій і багато в чому впливають на усвідомлення людиною свого місця в соціальній культурі. Загальною основою соціокультурної динаміки розвитку життєдіяльності сучасної людини є об'єктивні процеси її інтелектуалізації та технологізації, активно стимульовані компонентами технічного розвитку. Ймовірно, ці процеси стануть найважливішими чинниками системно-технічної перебудови людської діяльності в постіндустріальну епоху. Вони консолідують клас інтелектуальних технологій, роблячи його основою для організаційного перетворення різних видів діяльності в інформаційному суспільстві, визначають професіоналізацію та спеціалізацію інформаційної діяльності, а також беруть участь в активному формуванні ринку інформаційних послуг.

Таким чином, технічною основою цього процесу є розповсюдження автоматизованих засобів виробництва, обробки та передачі інформації, і, зокрема, комп'ютерів з їх апаратним і програмним забезпеченням.

Інформаційні технології – це технології, які використовуються для зберігання, маніпулювання, розповсюдження та створення інформації (*Волошин, 2019*).

Практичне оволодіння їх можливостями багато в чому визначає успішність, і результативність людської діяльності, а також впливає на розвиток економічних, соціальних і культурних зв'язків.

Таким чином, інформаційно-комунікаційні технології, посідаючи одне з центральних місць у світовій економіці та культурі, з одного боку приносять пряму користь для досягнення цілей сталого розвитку, в іншого боку прямо чи опосередковано завдають шкоди інтересам соціальної та екологічної сфер.

У таблиці 1 представлені різні значення цифрової економіки, які виникли з часом. Згідно з J. Jordan і C. Ellen у Ref. (*Jordan & Ellen, 2009*), цифрові економіки створюють умови для розвитку епохи Business Intelligence (BI) (*Таблиця 1*).

Початкові визначення зосереджуються, зокрема, на Інтернеті, зосереджуючись на його появі на початку 1990-х років як головному потоку технологічного розвитку в економіці, тобто на глобальній півночі. Початкові визначення зосереджені на обґрунтуванні попередніх ідеологій, наприклад, економіки даних (і пов'язаної, але ширшої сфери спільноти даних). Л. Кемпбелл (*Campbell, 2021*) стверджує, що цифрова економіка фокусується на охопленні двох різних поколінь економічної діяльності. Цей перший був інформативним і складався з основних завдань, наприклад, розміщення статичних даних на сайтах, але в той момент, коли це пов'язано з комунікацією, на основі більшої взаємодії, ніж в межах Інтернету.

Дослідники оцінили термінологію «цифрова економіка», і було підтверджено, що це означає довгострокову та широку тенденцію до розвитку активів, заснованих на знаннях і даних, а також оцінки матеріальних продуктів і активів, пов'язаних з виробництвом, гірничодобувною промисловістю і сільським господарством.

Таким чином, цифровізація економіки – це специфічна економічна технологія зі своїми особливостями, тенденціями та закономірностями. Багато країн світу

використовують цю технологію для підвищення ефективності. Результати цифрової економіки – ті самі продукти, що й у звичайній економічній діяльності.

Цифрова економіка не є окремою галуззю, а просто діє як віртуальне доповнення до реальної традиційної економіки.

М. Дзямулич (*2021*) визначаючи роль інформаційних систем та технологій в контексті формування цифрової економіки, вказує на їх значний вплив на бізнес-процеси та на загальне скорочення потоку матеріальних ресурсів, які необхідні для виробництва у зв'язку із загальним зростанням його ефективності. Це визначає можливість інтеграції цифрової та циркулярної економіки в процесі формування Індустрії 4.0 (*Рисунок 1*; *Рисунок 2*)

ІТ-інтенсивне виробництво товарів і послуг об'єднує послуги та продукти, які в основному залежать від ІТ для забезпечення, наприклад, комплексне інженерне проектування або бухгалтерські послуги та виробництво матеріальних товарів, для яких виробництво ІТ є фундаментальним, наприклад, прецизійна обробка, яка використовує обчислювальне числове керування та хімічний процес, яким керують комп'ютери. Сектори ІТ-галузей, які підтримують сегмент цифрової економіки: послуги та товари ІТ-сектору, які мають безпосередній вплив на три елементи цифрової економіки, об'єднують великий сегмент індустрії обчислювальних мереж, виробництва комп'ютерів та індустрії ІТ-консалтингу (деякі експерти описують ІТ-сектори в широкому діапазоні термінів і інтегрують комунікаційні засоби, включаючи комунікаційні послуги та мовлення). Ця категорія об'єднує одне з менш чітких визначень, оскільки виробництво ІТ-послуг і товарів інтегрує телекомунікації в сегмент цифрової економіки.

Другим елементом є неявне схвалення нечітких меж у цифровій економіці. Воно базується на застосуванні таких термінів, як суттєвий, критичний, найбільш безпосередньо та інтенсивний.

І. Петрова у статті «Цифрова економіка та поява цифрової зайнятості» зазначає, що цифровізація економіки сприяє формуванню нових рис у системі відносин зайнятості. Так, за умов цифрової зайнятості виникають новітні форми конкуренції на ринку праці. Глобалізація та розвиток інформаційних технологій сприяють підвищенню конкурентоспроможності професіоналів, особистостей з талантами, відповідальністю та вмінням вирішувати нетипові завдання, які постійно вдосконалюють свої професійні навички та знання (*Петрова, 2020*).

Висновок

Комп'ютерні технології є основою формування інформаційного простору як принципово нового середовища життєдіяльності людини.

Пізніші значення об'єднують нові технології, наприклад, сенсорні мережі та мобільні мережі, масивні дані та хмарні обчислення. Крім того, вони зосереджуються на загальній перспективі цифровізованих ініціатив відповідно до скромних визначень. У межах визначень можна візуалізувати історичну основу.

Цифрова економіка за загальним підходом – це економіка, заснована на використанні цифрових технологій. Іноді її називають «нова економіка» або «інтернет-економіка». В переважній більшості таких випадків, мова йде про виробництво і продаж

товарів та послуг з використанням інформаційно-комунікаційних технологій і мережевих систем.

Мова йде не лише про мережеві технології, інтелектуальну машину, а про технологію, яка використовує людину, яка взаємопов'язує творчість, знання та інтелект для прориву у формуванні соціального розвитку та розвитку багатства.

Таким чином, при формуванні державної економічної політики та стратегії розвитку необхідно поєднувати силу ринкових відносин із загальнолюдськими цінностями, враховувати вплив інформаційно-комунікаційних технологій на розвиток людського потенціалу, створювати необхідне сприятливе середовище для поширення інформаційно-комунікаційних технологій, забезпечення високотехнологічної економіки висококваліфікованою робочою силою.

Конфлікти інтересів

Автор заявил, що конфлікту інтересів немає.

Список джерел інформації:

Волошин, А. Міжнародна конкурентоспроможність Українських малих та середніх підприємств // Економіка та держава. – 2019. – Вип. 2. – С. 120-123. [Voloshin, A. (2019). International competitiveness of Ukrainian small and medium-sized enterprises. *Economy and State*, *2*, 120-123. (In Ukrainian)]

Дзямулич, М. І., Шматковська, Т. О., Борисюк, О. В. Великі дані та їх роль у формуванні цифрової економіки // Галицький економічний вісник. – 2021. – Вип. 3. – С. 16-21. [Dzyamulich, M. I., Shmatkovskaya, T. O., & Borisyuk, O. V. (2021). Big data and their role in the formation of the digital economy. *Galician Economic Bulletin*, *3*, 16-21. (In Ukrainian)]

Кіт, Л. З. Еволюція мережевої економіки // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – Вип. 3. – Т. 2. – С. 187-194. [Kit, L. Z. (2014). Evolution of the network economy. *Bulletin of Khmelnitsky National University*, *3*(2), 187-194. (In Ukrainian)]

Матвейчук, Л. О. Цифрова економіка: теоретичні аспекти // Вісник Запорізького національного університету. – 2018. – Вип. 4. – С. 116-127. [Matveychuk, L. A. (2018). Digital economy: Theoretical aspects. *Bulletin of Zaporizhzhya National University*, *4*, 116-127. (In Ukrainian)]. https://doi.org/10.26661/2414-0287-2018-4-40-18

Олешко, Т. І., Касьянова, Н. В., Смерічевський, С. Ф. та ін. Цифрова економіка: підручник. Київ: НАУ, 2022. [Oleshko, T. I., Kasyanova, N. V., Smerichevsky, S. F. et al. (2022). *Digital Economy: Textbook*. Kyiv. (In Ukrainian)]

Петрова, І. Цифрова економіка та поява Цифрової зайнятості // Social and Labour Relations: Theory and Practice. – 2020. – Вип. 10. – С. 10-20. [Petrova, I. (2020). The digital economy and the emergence of digital employment. *Social and Labour Relations: Theory and Practice*, *10*, 10-20. (In Ukrainian)]

Adel Mahmod, S. (2017). 5G wireless technologies- future generation communication technologies. *International Journal of Computing and Digital Systems*, 6(3), 139-147. https://doi.org/10.12785/ijcds/060306

Campbell, L. (2021). Regulating the digital economy. *Journal of Telecommunications and the Digital Economy*, *9*(2), iii-vii. https://doi.org/10.18080/jtde.v9n2.425

Chouhan, N., Rathore, D., & Chhabra, I. (2018). Role of digitalization after demonetization in economy. *International Journal of Computational Science and Engineering*, *6*(9), 88-90, https://doi.org/10.26438/ijcse/v6si9.8890

Daoud, F. (2000). Electronic commerce infrastructure. *IEEE Potentials*, *19*(1), 30-33. https://doi.org/10.1109/45.825639

Kumar, H., & Kumar, S. (2015). Investigating social network as complex network and dynamics of user activities. *International Journal of High Performance Computing Applications*, *125*(7), 13-18. https:// doi.org/10.5120/ijca2015905952

Jordan, J., & Ellen, C. (2009). Business need, data and business intelligence. *Journal of Digital Asset Management*, *5*(1), 10-20. https:// doi.org/10.1057/dam.2008.53

Lauscher, A. (2019). Life 3.0: being human in the age of artificial intelligence. I*nternet Histories*, *3*(1), 101-103. https://doi.org/10.1080/ 24701475.2019.1565556

Додаток

Таблиця 1. Наукові підходи до визначення цифрової економіки

Наукове джерело	Визначення поняття
A. Lauscher (2019)	Цифрова економіка – конвергенція комунікаційних і обчислювальних технологій у мережі, що становить потік технологій і даних, що покращує електронний бізнес і широкомасштабну трансформацію бізнесу.
S. Adel Mahmod (2017)	Немає чіткого визначення поняття цифрової економіки; однак автор визначив чотири різні чинники: «розвиток Інтернету», «електронний бізнес між організаціями», цифрове надання послуг і товарів» і «роздрібна торгівля матеріальними продуктами».
N. Chouhan, D. Rathore (2018)	Цифрову економіку визначив як сферу найбільші нереалізованих сегментів нинішньої економіки, які змінилися шляхом комп'ютерної цифровізації даних.
F. Daoud (2000)	Цифрова економіка складається з трьох основних компонентів: • електронна комерція; • інфраструктура представляє загальну частку економічної системи, яка використовується для підтримки електронних процесів бізнесу та підтримки електронного бізнесу; • електронний бізнес являє собою процес, який здійснюється через комп'ютерні мережі; • електронна комерція представляє вартість послуг і продуктів, які продаються через автоматизовану мережу.
H. Kumar and S. Kumar (2015)	Як міжнародна мережа соціальної та економічної діяльності, яку дозволяють цифрові технології, наприклад, мобільна та інтернет-мережа
Т.І. Олешко (2022)	Цифрова економіка – діяльність по створенню, поширенню та використанню цифрових технологій і пов'язаних з ними продуктів і послуг
Л. Кіт (2014); Л. Матвейчук (2018)	Цифрова економіка - спосіб комунікацій між учасниками соціально-економічної діяльності через мережі та цифрові платформи.

Рисунок 1. Структура індустрії 4.0
Джерело: створено на основі (*Петрова, 2020*)

Рисунок 2. Взаємодія циркулярної економіки та індустрії 4.0
Джерело: створено на основі (*Петрова, 2020*)

Authors:

[1] Galyna V. Kucher, Doctor of Economics Science, Professor of the Department of Finance, Faculty of Finance and Accounting, State University of Trade and Economics. Kyiv, Ukraine.
ORCID 0000-0002-1714-5623, Researcher ID N-2387-2016, Scopus 56446953000

[2] Svitlana M. Nikolaienko, Candidate of Economic Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Accounting and Audit, Educational and Scientific Institute of Economics and Management, National University of Food Technologies. Kyiv, Ukraine.
ORCID 0000-0001-8903-6162

[3] Olexiy M. Varypaiev, Candidate of Philosophical Sciences (PhD), Associate Professor, Department of UNESCO "Philosophy of Human Communication" and Social and Humanitarian Disciplines, Associate Professor, State Biotechnological University. Kharkiv, Ukraine.
ORCID 0000-0003-0541-9102

[4] Andrii S. Minosian, Candidate of Historical Sciences (PhD), Associate Professor, Department of UNESCO "Philosophy of Human Communication" and Social and Humanitarian Disciplines, Professor, State Biotechnological University. Kharkiv, Ukraine.
ORCID 0000-0003-3347-5099

[5] Oleksandr G. Linyuchev, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Printing Technology, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv, Ukraine.
ORCID 0000-0003-1683-5937

[6] Dmytro Yu. Ushchapovskyi, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Electrochemical Production Technology, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv, Ukraine.
ORCID 0000-0002-2809-2774

[7] Olga V. Linyucheva, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Electrochemical Production Technology, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine.
ORCID 0000-0003-4181-5946

[8] Andriy S. Zabaluyev, Graduate Student, Department of Electrochemical Production Technology, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv, Ukraine.
ORCID: 0000-0002-9749-7599

[9] Anton S. Shantyr, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Artificial Intelligence, State University of Information and Communication Technologies. Kyiv, Ukraine.

[10] Valerii V. Semenets, Doctor of Technical Sciences, Department Professor, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics. Kharkiv, Ukraine.
ORCID 0000-0001-8969-2143, Scopus 25929592700

[11] Igor V. Prasol, Doctor of Technical Sciences, Department Professor, Department of Biomedical Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics. Kharkiv, Ukraine.

ORCID 0000-0003-2537-7376, Scopus 55891027200

[12] Kostiantyn O. Buravchenko, Candidate in Engineering Sciences (Automation of Control Processes) (PhD), Senior Lecturer, Central Ukrainian University. Kropyvnytskyi, Ukraine.
ORCID 0000-0001-6195-7533

[13] Rovil Nafieiev, Candidate of Physical and Mathematical Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Robotics and Technical Systems, State University of Information and Communication Technologies. Kyiv, Ukraine.
ORCID 0000-0003-2721-9718, Scopus 57271111000

[14] Serhii Simchenko, Candidate of Physical and Mathematical Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Higher Mathematics, Mathematical Modeling and Physics, State University of Information and Communication Technologies. Kyiv, Ukraine.
ORCID 0009-0005-5280-7564, Scopus 53878688400

[15] Yuriy Pepa, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Department Head, Department of Robotics and Technical Systems, State University of Information and Communication Technologies. Kyiv, Ukraine.
ORCID 0000-0003-2073-1364, Scopus: 57479016800

[16] Ilona Simchenko, Senior Lecturer, Department of Higher Mathematics, Mathematical Modeling and Physics, State University of Information and Communication Technologies. Kyiv, Ukraine.
ORCID 0009-0006-8166-9735

[17] Natalya B. Slyvka, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Technology of Milk and Milk Products, Faculty of Food Technologies and Biotechnology, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv. Lviv, Ukraine.
ORCID 0000-0002-1792-2082, Scopus 57212233748

[18] Olha R. Mykhaylytska, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Technology of Milk and Milk Products, Faculty of Food Technologies and Biotechnology, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv. Lviv, Ukraine.
ORCID 0000-0002-3727-1088, Scopus 57194706897

[19] Inna V. Skulska, Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Lecturer, Department of Technology of Milk and Milk Products, Faculty of Food Technologies and Biotechnology, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv. Lviv, Ukraine.
ORCID 0000-0003-4037-0279, Scopus: 57552204300

[20] Oksana Ya. Bilyk, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Technology of Milk and Milk Products, Faculty of Food Technologies and Biotechnology, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv. Lviv, Ukraine.
ORCID 0000-0003-1165-8935, Scopus 57194710671

[21] Volodimyra O. Nagovska, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Technology of Milk and Milk Products, Faculty of Food Technologies and Biotechnology, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv. Lviv, Ukraine.
ORCID 0000-0003-3624-8182, Scopus 57194009717

[22] Yaroslava S. Vavrysevych, Candidate of Biological Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Biological and General Chemistry, Faculty of Food Technologies and Biotechnology, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv. Lviv, Ukraine.
ORCID 0009-0003-0160-8384, Scopus 57194005112

[23] Oksana A. Mykaylo, Candidate of Physical and Mathematical Sciences (PhD), Associate Professor, Department of Urban Construction and Economy, State Higher Scientific Institution "Uzhhorod National University". Uzhhorod, Ukraine.

[24] Oleksandr Pokanevych, Master in International Health Policy and Management, Master in Dynamics in Health and Welfare, Master in Public Administration in Healthcare, MD, University President, Kyiv Medical University. Kyiv, Ukraine.

[25] Borys Ivnyev, Professor, Doctor of Medical Sciences, PhD, MD, University Rector, Kyiv Medical University. Kyiv, Ukraine.
ORCID 0000-0002-4370-1689

[26] Olha Puzanova, Associate Professor, Doctor of Medical Sciences, PhD, MD, Professor, Department of Internal and Occupational Diseases, Postgraduate Faculty, Kyiv Medical University. Kyiv, Ukraine.
ORCID 0000-0002-4451-659X

[27] Yaroslav Y. Voitiv, Doctor of Medical Science, Associate Professor, Department of Surgery and Transplantology, Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
ORCID 0000-0003-2638-9352

[28] Valentyn Y. Smorzhevskyi, Doctor of Medical Science, Professor, Department of Surgery and Transplantology, Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
ORCID 0000-0001-8410-3944

[29] Viktor A. Udymovych, PhD in Chemistry and Bioengineering, Senior Lecturer, Department of Biotechnology and Microbiology, Faculty of Biotechnology and Environmental Control, National University of Food Technologies. Kyiv, Ukraine.
ORCID 0009-0007-9263-8755

[30] Tetiana O. Belemets, Candidate of Engineering Sciences (PhD), Senior Lecturer, Department of Biotechnology and Microbiology, Faculty of Biotechnology and Environmental Control, National University of Food Technologies. Kyiv, Ukraine.
ORCID 0000-0002-6701-1711

[31] Denys V. Derevianko, PhD in Pedagogy, Senior Lecturer, Department of Educational and Socio-Cultural Management and, Bohdan Khmelnytsky National University at Cherkassy. Cherkassy, Ukraine.
ORCID 0000-0002-8086-951X

Citations in APA

[1] Kucher, G. V. (2024). Challenges on the way of European integration of Ukraine. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 7-21. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development. (In Ukrainian)
https://doi.org/10.47451/ecn2024-06-01

[2] Nikolaienko, S. M. (2024). Accounting and analytical aspects of the cost management process. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 22-29. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development. (In Ukrainian)
https://doi.org/10.47451/ecn2024-05-01

[3] Varypaiev, O. M., & Minosian, A. S. (2024). Philosophical, historical, and cultural aspects of humanitarian training in the educational environment. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 30-40. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development.
https://doi.org/10.47451/hum2024-05-01

[4] Linyuchev, O. G., Ushchapovskyi, D. Yu., Linyucheva, O. V., & Zabaluyev, A. S. (2024). The effect of corrosion treatment on the electrochemical activity of Ni-based electrode materials. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 41-49. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development. (In Ukrainian)
https://doi.org/10.47451/inn2024-05-01

[5] Shantyr, A. S. (2024). Identification of sources of uncertainty in the evaluation of software systems quality. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 50-64. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development. (In Ukrainian)
https://doi.org/10.47451/inn2024-05-02

[6] Semenets, V. V., & Prasol, I. V. (2024). Software and hardware microcontroller complex for vibration monitoring. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 65-75. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development. (In Ukrainian)
https://doi.org/10.47451/inn2024-05-03

[7] Buravchenko, K. O. (2024). Analyzing the methods of protection against First-Person View drone. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 76-86. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development.
https://doi.org/10.47451/inn2024-05-04

[8] Nafieiev, R., Simchenko, S., Pepa, Yu., & Simchenko, P. (2024). Preparation of films based on metal nitrides by the method of magnetron sputtering and study of their optical properties. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 87-92. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development.
https://doi.org/10.47451/inn2024-05-05

[9] Slyvka, N. B., Mykhaylytska, O. R., Skulska, I. V., & Bilyk, O. Ya. (2024). Prospects for using black elderberry in the fermented whey drinks technology. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 93-105. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development. (In Ukrainian)
https://doi.org/10.47451/inn2024-05-06

[10] Mykhaylytska, O. R., Slyvka, N. B., Nagovska, V. O., & Vavrysevych, Ya. S. (2024). The use of "Lactomyces tibeticus" for the production of fermented milk drink. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 106-120. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development. (In Ukrainian)
https://doi.org/10.47451/inn2024-06-01

[11] Mykaylo, O. A. (2024). Innovative mobile solutions for vertical greenery in cities. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 121-128. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development.
https://doi.org/10.47451/inn2024-06-02

[12] Pokanevych, O., Ivnyev, B., & Puzanova, O. (2024). Real decisions of international medical students on choosing elective courses on general, internal, and evidence-based medicine at Kyiv Medical University. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 129-155. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development.
https://doi.org/10.47451/med2024-05-01

[13] Voitiv, Y. Y., & Smorzhevskyi, V. Y. (2024). Analysis of the genetic determination of developing eventration in patients with abdominal surgical pathology. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 156-163. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development. (In Ukrainian)
https://doi.org/10.47451/med2024-05-02

[14] Udymovych, V. A., & Belemets, T. O. (2024). Source of polyunsaturated fatty acid and their effects on the human body. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 164-176. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development. (In Ukrainian)
https://doi.org/10.47451/med2024-06-01

[15] Derevianko, S. V. (2024). Information technology as a factor of developing the digital economy. *Actual Issues of Modern Science. European Scientific e-Journal, 31*, 177-185. Ostrava: Tuculart Edition, European Institute for Innovation Development. (In Ukrainian)
https://doi.org/10.47451/soc2024-05-01

European Scientific e-Journal

EU, Czech Republic, Ostrava

Publishers
European Institute for Innovation Development
Tuculart Edition

Right to conduct publication activities
IČ: 14207052

Date of Issue
July 30, 2024

EUROPEAN SCIENTIFIC e-JOURNAL
ISSN 2695-0243
DOI 10.47451/col-031-2024